



COMPÊNDIO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

2024

UNESPAR / PARANAGUÁ

Universidade Estadual do Paraná
Bacharelado em Engenharia de Produção

COMPÊNDIO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO
Engenharia de Produção - Unespar

Organizadores:

Everton Luiz Vieira

Fernando Henrique Lermen

Gustavo de Souza Matias

Camila Matos

Valderice Herth Junkes

Murillo Vetroni Barros

Karen Godoi Van Mierlo



2025© Compêndio de trabalhos de conclusão de curso - Engenharia de Produção - Unespar

Organizadores:

Everton Luiz Vieira; Fernando Henrique Lermen; Gustavo de Souza Matias; Camila Matos;
Valderice Herth Junkes; Murillo Vetroni Barros; Karen Godoi Van Mierlo

C737 Compêndio de trabalhos de conclusão de curso: Engenharia da Produção -
Unespar / Everton Luiz Vieira et al. (orgs.).- Paranaguá: Unespar –
campus Paranaguá, 2025.
189 p.

ISBN 978-65-86807-91-2

1. Pesquisa científica. 2. Engenharia da Produção (Unespar) - Pesquisa.
3. Engenharia da Produção (Unespar) – TCC. I. Vieira, Everton Luiz (Org.).

CDD 001.42
23 ed.

Ficha catalográfica elaborada por Leocilêa Aparecida Vieira – CRB 9/1174

AUTORES

Bianca Chemure dos Anjos

Camila Matos

Everton Luiz Vieira

Fernando Henrique Lermen

Filipe Santos

Gabriel Corrêa Campos Graces de Oliveira

Gustavo de Souza Matias

Issamy Kuriyama da Costa

Janaine Timm

João Vitor Correa Cordeiro

Karen Godoi Van Mierlo

Leonardo Iankoski Souza da Silva

Maria Cecília Ferrari de Carvalho Teixeira

Murillo Vetroni Barros

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que o curso de Bacharelado em Engenharia de Produção da Universidade Estadual do Paraná – Campus de Paranaguá – apresenta a segunda edição do Compêndio de Trabalhos de Conclusão de Curso.

Este volume reúne uma seleção de pesquisas desenvolvidas pelos(as) estudantes concluintes do ano de 2024, evidenciando a diversidade de temas, a profundidade técnica e a relevância prática das investigações realizadas. Os trabalhos abordam distintas áreas da Engenharia de Produção, como qualidade, sustentabilidade, logística, manutenção, ergonomia e análise de dados, refletindo o compromisso do curso com a formação crítica, ética e inovadora de seus egressos.

O compêndio visa não apenas registrar as produções acadêmicas, mas também incentivar o intercâmbio de conhecimentos entre comunidade acadêmica, setor produtivo e sociedade em geral, contribuindo para o fortalecimento da pesquisa aplicada no contexto regional e nacional.

Agradecemos aos(às) autores(as), orientadores(as) e membros das bancas avaliadoras, que com dedicação e rigor científico contribuíram para a realização deste volume. Reconhecemos ainda o empenho da equipe organizadora, que tornou possível a publicação desta obra.

Esperamos que esta coletânea inspire novas pesquisas, promova o debate técnico-científico e continue fortalecendo a Engenharia de Produção como agente transformador da realidade.

SUMÁRIO

Análise da Qualidade do Refino de Óleo de Soja: Um estudo baseado em uma indústria de refino de óleos	7
Avaliação do ciclo de vida na movimentação de contêineres: Mensuração de emissões e proposição de estratégias para transição sustentável	3
Análise de Gestão de Estoques Baseada em Curva ABC e Níveis de Estoque em uma loja de produtos de beleza	38
Análise Ergonômica e Implementação de Melhoria Postural em uma Metalúrgica: Um Estudo de Caso	60
Otimização da Eficiência Operacional: Proposta de Aplicação do Indicador OEE em um Britador Primário de Mineradora	86
Aplicação de um Modelo de Gerenciamento de Riscos Ambientais em uma Secretaria de Infraestrutura Municipal do Paraná	107
Inteligência artificial aplicada à previsão de falhas: uma análise comparativa entre modelos para a gestão de manutenção no setor portuário	131

Análise da Qualidade do Refino de Óleo de Soja: Um estudo baseado em uma indústria de refino de óleos

Gabriel Corrêa Campos Graces de Oliveira (gabrielcc.oliveira@gmail.com)

Camila Matos (camila.matos@unespar.edu.br)

Resumo: A qualidade do óleo de soja refinado é determinada por parâmetros críticos como acidez em pontos do processo, teor e densidade de clorofila, índice de peróxidos, vestígios de sabões e o perfil sensorial do produto. Este trabalho tem como objetivo avaliar a conformidade do óleo refinado com os padrões de qualidade estabelecidos e identificar como os diferentes fatores impactam o produto, sendo a correlação entre os fatores não compreendidos pela indústria onde foi aplicado o estudo. A análise foi baseada em dados laboratoriais de testes físico-químicos durante as etapas de neutralização, branqueamento e desodorização, em amostras coletadas entre fevereiro de 2023 e março de 2024. Os resultados indicaram que o controle dos sabões residuais e do teor de umidade exerce influência significativa na acidez final, enquanto o manejo adequado da clorofila e dos peróxidos garante a estabilidade e qualidade sensorial do óleo. Esses achados confirmam que o processo de refino, quando realizado de forma otimizada, é eficaz para atender aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Palavras-chave: Análise de dados; Óleo vegetal; Refino; Qualidade.

Analysis of the Quality of Soybean Oil Refining: A Study Based on an Oil Refining Industry

Abstract: The quality of refined soybean oil is determined by critical parameters such as acidity at different process stages, chlorophyll content and density, peroxide index, traces of soaps, and the product's sensory profile. This study aims to evaluate the compliance of refined oil with established quality standards and identify how different factors impact the product, with the correlation between the factors not understood by the industry where the study was applied. The analysis was based on laboratory data from physicochemical tests, which measured the concentrations of critical variables during the neutralization, washing, bleaching, and deodorization stages in samples collected between February 2023 and March 2024. The results indicated that controlling residual soaps and moisture content significantly influences the final acidity, while proper management of chlorophyll and peroxides ensures the oil's stability and sensory quality. These findings confirm that the refining process, when optimized, is effective in meeting the quality standards required by the market.

Keywords: Data analysis; Vegetable oil; Refining; Quality.

1. INTRODUÇÃO

O óleo vegetal é um componente indispensável na culinária e na indústria alimentícia, sendo amplamente utilizado como a base de produtos como frituras, molhos e margarinas, sendo assim, sua qualidade é um fator determinante para garantir a estabilidade dos produtos finais e a segurança alimentar (GUPTA, 2017). O processo de refino é fundamental para a obtenção de um óleo de alta qualidade, pois permite a remoção de impurezas, melhora as propriedades sensoriais e assegura a conformidade com padrões regulatórios e exigências do mercado (BAILEY, 2005).

O desenvolvimento das técnicas de refino de óleo vegetal teve início no final do século XIX, impulsionado pela crescente industrialização e pela necessidade de produzir óleos mais puros e estáveis para consumo humano e uso industrial (HUI, 1996). Antes disso, os óleos vegetais eram extraídos e utilizados com pouca ou nenhuma purificação, resultando em produtos com sabores, aromas e colorações indesejadas. A Revolução Industrial trouxe inovações tecnológicas, como prensas hidráulicas e sistemas de filtração, que aprimoraram a extração e o processamento do óleo (GUNSTONE, 2011). No início do século XX, técnicas químicas avançadas, como a neutralização alcalina, o branqueamento e a desodorização, consolidaram o processo moderno de refino, garantindo padrões de qualidade mais elevados (CARR, 2013).

Atualmente, o refino de óleo vegetal segue uma sequência de etapas específicas. Inicialmente, o óleo bruto é extraído por prensagem mecânica ou pela utilização de solventes orgânicos, visando maximizar a extração de lipídios dos grãos de soja. Em seguida, o óleo passa pela degomagem, que reduz o teor de fosfatídeos e lecitinas, resultando no óleo degomado. (EMBRAPA, 2015). A neutralização é realizada com hidróxido de sódio para remover ácidos graxos livres, seguida de filtração para eliminar os sais formados durante o processo. O branqueamento utiliza agentes adsorventes, como argilas ativadas e carvão ativo, para remover pigmentos, metais traço e compostos oxidantes. Por fim, a desodorização, realizada sob alta temperatura e vácuo, elimina compostos voláteis responsáveis por odores e sabores indesejáveis, garantindo um produto adequado para consumo (EMBRAPA, 2015).

Apesar da importância crítica da acidez e de outros parâmetros na determinação da qualidade do óleo de soja refinado, a indústria onde este estudo foi realizado não compreendia plenamente as correlações entre os diversos fatores que influenciam esses parâmetros. Essa deficiência levou a inconsistências na qualidade do produto final, afetando sua estabilidade, sabor e vida útil.

Portanto, existe a necessidade de investigar e esclarecer essas correlações para otimizar

o processo de refino e garantir que o óleo de soja refinado atenda aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado. Este estudo busca preencher essa lacuna ao fornecer uma análise abrangente dos fatores que influenciam a qualidade do óleo de soja refinado, utilizando dados laboratoriais de testes físico-químicos para propor recomendações para melhorias no processo de refino.

Este estudo está inserido na área de Engenharia da Qualidade, conforme definido pela ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, e tem como objetivo principal analisar a qualidade do refino do óleo de soja ao longo de um período de 14 meses, de fevereiro de 2023 a março de 2024. A pesquisa baseia-se em um banco de dados de análises laboratoriais, avaliando parâmetros físico-químicos essenciais para o controle da qualidade, como índice de acidez, presença de sabões residuais, teor de clorofila, índice de peróxidos e perfil sensorial do óleo refinado (ABNT, 2019).

Os objetivos específicos deste trabalho incluem: (i) descrever os parâmetros físico-químicos utilizados na avaliação da qualidade do óleo vegetal refinado; (ii) analisar a distribuição e evolução desses parâmetros ao longo do período de estudo; (iii) identificar possíveis fatores que impactam a qualidade do refino do óleo vegetal; e (iv) correlacionar os dados analisados para compreender a influência de cada etapa do processo na composição final do produto (ISO, 2020)

A partir da análise laboratorial, este estudo busca compreender como os fatores físico-químicos impactam a estabilidade e a pureza do óleo refinado. A correlação entre variáveis como acidez, peróxidos, clorofila e sabões residuais possibilita um diagnóstico mais preciso sobre os principais desafios na obtenção de um óleo de qualidade consistente (NIELSEN, 2017).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REFINO DE ÓLEO VEGETAL

O refino de óleos vegetais é um processo essencial para a obtenção de produtos de alta qualidade, sendo composto por diversas etapas que eliminam impurezas e melhoram as

propriedades do óleo. Entre essas etapas, destacam-se a degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização, cada uma com funções específicas que garantem um produto final adequado para consumo (GUNSTONE, 2004). O fluxograma na Figura 1 ilustra as etapas do processo do refino de óleo de soja:

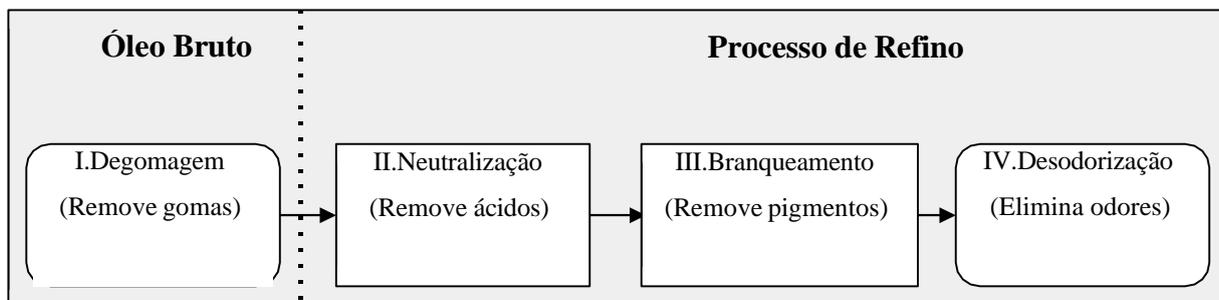


Figura 1 – Fluxograma do processo de refino do óleo de soja

Nota: autoria própria.

I. A degomagem é a primeira etapa do refino e tem como objetivo remover os fosfolipídeos presentes no óleo bruto. Esse processo pode ser realizado por meio de tratamentos mecânicos ou químicos, sendo fundamental para evitar a formação de goma durante o armazenamento e o processamento subsequente (SRIGLEY, 2017).

II. Também conhecida como desacidificação, a neutralização remove os ácidos graxos livres, melhorando a estabilidade oxidativa do óleo e evitando a rancificação. Essa etapa é essencial para prolongar a vida útil do produto e garantir sua segurança para consumo (DORSA, 1995).

III. O branqueamento é responsável por remover pigmentos e outras impurezas que podem comprometer a cor e qualidade sensorial do óleo. Esse processo utiliza adsorventes específicos para capturar substâncias indesejáveis, garantindo um produto mais estável e visualmente atrativo (DORSA, 1995).

IV. A desodorização elimina compostos voláteis que conferem odores e sabores indesejáveis ao óleo. Esse processo ocorre sob alta temperatura e vácuo, assegurando um produto final adequado para aplicação alimentar e industrial (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2006).

2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE NO REFINO DE ÓLEOS VEGETAIS

A qualidade do óleo bruto é diretamente influenciada pela matéria-prima utilizada, pelas condições de armazenamento e pelo processo de extração. A deterioração oxidativa e a degradação enzimática, intensificadas por fatores como umidade elevada e grãos danificados, podem comprometer a qualidade do óleo desde a fase inicial de produção (DORSA, 1995).

A Instrução Normativa N° 49 de 22 de dezembro de 2006, emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), determina que a qualidade dos óleos vegetais

refinados deve ser avaliada por meio de diversos parâmetros, incluindo índices de acidez, índice de peróxido, teor de umidade, impurezas, sabões, aspecto, cor, odor e sensorial. O regulamento, especificamente no item 2.29, define o prazo de validade como o período adequado para o consumo do alimento, sendo que esse prazo deve ser estabelecido pelas próprias empresas produtoras (ABNT, 2019).

Os principais parâmetros de qualidade avaliados durante o processo de refino neste estudo incluem:

2.2.1 Acidez

A acidez é um dos parâmetros fundamentais na análise de qualidade do óleo de soja refinado. Este parâmetro indica a quantidade de ácidos graxos livres presentes no óleo, os quais podem afetar o sabor, o odor e a estabilidade do produto. A acidez elevada é indesejável, pois pode indicar degradação do óleo, levando a sabores rançosos e menor vida útil do produto. (DORSA, 1995). A determinação da acidez é realizada por meio de uma titulação ácido-base, onde os ácidos graxos livres são neutralizados e medidos. Segundo Meilgaard, Civille e Carr (2006), a análise precisa de acidez é crucial para garantir que o óleo de soja refinado atenda aos padrões de qualidade e segurança exigidos pelo mercado.

Dentre os parâmetros analisados, o teor de ácidos graxos livres (AGLs) e a acidez final do óleo refinado foram considerados críticos. Os AGLs são produtos da hidrólise dos triglicerídeos e podem comprometer a qualidade do óleo ao acelerar sua degradação oxidativa, afetando sabor, aroma e estabilidade (GUNSTONE, 2008). A acidez do óleo, por sua vez, está diretamente ligada à quantidade de AGLs remanescentes e é um indicador essencial da eficiência do refino (ERICKSON, 1995).

Manter esses parâmetros dentro dos limites ideais é fundamental tanto para garantir a aceitabilidade sensorial quanto para otimizar a eficiência do processo industrial. A perda excessiva de ácidos graxos pode levar à remoção de compostos benéficos e reduzir a rentabilidade do processo.

2.2.2 Sensorial

A avaliação sensorial do óleo de soja refinado é essencial para garantir sua qualidade e aceitação pelo consumidor. Esse processo envolve a análise de atributos como cor, odor, sabor e aparência geral, realizados por um painel de especialistas treinados. A cor deve ser clara e uniforme, sem tons esverdeados ou escurecidos, o que indica um refinamento adequado. O odor precisa ser neutro, sem sinais de ranço ou odores estranhos, que podem sugerir degradação ou contaminação. O sabor deve ser suave e agradável, sem amargor ou sabores residuais que comprometam a qualidade (MEILGAARD ET AL; 2006). De acordo com Meilgaard, Civille e

Carr (2006), a avaliação sensorial é uma ferramenta indispensável para garantir que o produto final atenda aos padrões de excelência esperados pelo mercado consumidor.

2.2.3 Clorofila

A presença de clorofila no óleo de soja refinado é um parâmetro importante a ser monitorado durante o processo de refino. A clorofila pode conferir uma coloração verde ao óleo, o que não é desejável, pois pode afetar negativamente a aparência e a aceitabilidade do produto final e, além disso, a clorofila pode atuar como um fotossensibilizador, promovendo a oxidação do óleo e reduzindo sua estabilidade e vida útil (DORSA, 1995). Durante o processo de refino, a clorofila é removida principalmente nas etapas de desodorização e clarificação. De acordo com Shahidi (2005), a remoção eficiente da clorofila é crucial para garantir a estabilidade oxidativa e a qualidade sensorial do óleo refinado.

2.2.4 Peróxidos

Os peróxidos são indicadores cruciais da qualidade do óleo de soja refinado, pois refletem o grau de oxidação do óleo. A presença de peróxidos resulta da oxidação dos ácidos graxos, um processo que pode ocorrer durante o armazenamento e manuseio inadequados. Elevados níveis de peróxidos indicam que o óleo está começando a se deteriorar, o que pode levar a odores e sabores desagradáveis, além de diminuir a vida útil do produto (DORSA, 1995). A determinação do índice de peróxido é realizada por meio de uma titulação que mede a quantidade de peróxidos presentes no óleo e, segundo Nielsen (2010), monitorar e controlar os níveis de peróxidos é essencial para garantir a estabilidade e a qualidade do óleo de soja refinado.

2.2.5 Sabões

Durante o processo de refino de óleos vegetais, a formação de sabões ocorre predominantemente na etapa de neutralização, quando os ácidos graxos livres reagem com álcalis, como hidróxido de sódio, formando sabões e glicerol. Esse subproduto é indesejado no produto final, pois sua presença pode comprometer a qualidade do óleo refinado, gerando turbidez, alterações sensoriais e instabilidade química. Por essa razão, a remoção eficiente dos sabões é um aspecto crítico no refino, garantindo a pureza e o desempenho do óleo (ERICKSON, 1995).

A análise desses parâmetros ao longo do processo de refino permite compreender como cada etapa influencia a qualidade do óleo final e o contínuo monitoramento da qualidade do óleo durante a produção garante que os padrões de qualidade e segurança exigidos pela indústria e pelos órgãos reguladores sejam devidamente atendidos.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta seção detalha os métodos utilizados para a coleta, análise e interpretação dos dados relacionados ao processo de refino de óleo vegetal. A pesquisa adota um método misto (VENKATESH ET AL., 2013), combinando abordagem quantitativa, pela coleta e análise de dados laboratoriais, e qualitativa, por meio da avaliação das análises sensoriais realizadas em laboratório. As etapas metodológicas estão divididas em três seções principais: (i) Escopo da Aplicação, (ii) Análises Laboratoriais e (iii) Análise de Dados.

3.1 ESCOPO DA APLICAÇÃO

O estudo foi conduzido em uma refinaria de óleo vegetal de grande porte localizada na região sul do Brasil. O objetivo foi identificar os parâmetros que influenciam a qualidade do óleo refinado, com base nos dados fornecidos pela empresa.

A coleta de dados ocorreu diretamente no ambiente operacional da empresa, por meio das análises laboratoriais realizadas durante as etapas do refino do óleo, em uma refinaria pertencente à uma multinacional com mais de 100 mil funcionários ao redor do mundo.

Os resultados das análises eram registrados em uma planilha de acesso restrito no sistema de supervisão da operação, permitindo o monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade. Caso os valores ultrapassassem os limites estabelecidos, medidas corretivas poderiam ser implementadas pela equipe operacional. No entanto, ajustes eram realizados apenas quando a acidez do óleo refinado final excedia os limites aceitáveis, pois a influência exata de cada etapa intermediária nos desvios de qualidade era desconhecida. Dessa forma, o foco do processo era garantir um produto final dentro dos padrões exigidos.

3.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

Os dados foram extraídos do banco de resultados laboratoriais da empresa, abrangendo medições realizadas etapa a etapa ao longo do período de fevereiro de 2023 a março de 2024. Isso permitiu um acompanhamento detalhado da evolução dos parâmetros de qualidade e sua relação com as condições do processo produtivo.

As amostras foram retiradas em recipientes próprios descartáveis de aproximadamente 250 mL com tampa, manuseadas com luvas nitrílicas, buscando evitar contaminação entre o óleo nas diferentes etapas do refino e as coletas foram realizadas em intervalos de tempo pré-definidos pelo controle interno de qualidade para garantir o acompanhamento ponto a ponto do processo industrial.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Para compreender melhor a influência dos parâmetros laboratoriais sobre a qualidade do óleo refinado, foi realizada a análise da base de dados coletada, dividida em três etapas: (i)

Tratamento e Organização dos Dados, (ii) Análise Exploratória dos Dados e (iii) Análise da correlação das variáveis.

3.3.1 Tratamento e Organização dos Dados

Os dados foram estruturados em um banco de dados no formato .csv e processados utilizando a linguagem Python. Para garantir a qualidade das análises, foram realizados procedimentos de tratamento de dados, incluindo remoção de valores inconsistentes e *outliers* por meio de métodos estatísticos como desvio padrão e intervalo interquartil (IQR).

O banco de dados inicial continha mais de 20 mil linhas e 10 colunas. A coluna de Ácido Cítrico foi removida, enquanto a coluna de acidez foi dividida em três novas colunas: acidez do óleo degomado, acidez do óleo branqueado e acidez do óleo refinado. Para facilitar a análise, os dados foram compactados por data, transformando os valores em médias diárias, o que também ajudou a eliminar valores faltantes e outliers. Após esse processo de transformação e limpeza, o dataset final resultou em 346 linhas e 11 colunas, com cada linha representando um dia específico de análise.

As bibliotecas utilizadas incluíram Pandas (MCKINNEY, 2010) para manipulação de dados, NumPy (HARRIS et al., 2020) para cálculos matemáticos e SciPy para testes estatísticos básicos.

3.3.2 Análise Exploratória

A análise exploratória foi conduzida para identificar padrões, tendências e relações iniciais entre os parâmetros físico-químicos e a qualidade do óleo. O agrupamento de dados por períodos de tempo e o cálculo de médias são técnicas fundamentadas na estatística descritiva e recomendadas para análises temporais (BOX, HUNTER & HUNTER, 2005). Esse procedimento permite sintetizar informações dispersas, reduzindo ruídos e facilitando a identificação de tendências. Ao calcular médias para grupos de dados, é possível minimizar a influência de valores extremos (outliers) que podem distorcer análises. Essa abordagem aumenta a validade e a confiabilidade dos resultados, como discutido em "Statistical Methods for Research Workers" (FISHER, 1970).

Para organizar e analisar os dados de forma consistente, foi utilizada a técnica de agrupamento por dia, seguida do cálculo da média dos registros diários. Esse método, amplamente adotado na análise estatística descritiva (TRIOLA, 2018), visa reduzir o impacto de valores discrepantes e proporcionar uma visão mais clara e representativa dos dados (FISHER, 1970).

Visualizações gráficas com histogramas foram geradas com as bibliotecas Matplotlib e Seaborn, utilizando-se um mapa de calor para calcular e visualizar a matriz de correlação de

Pearson, que quantifica a relação linear entre as variáveis.

3.3.3 Correlação

A correlação é uma medida estatística essencial que avalia a força e a direção da relação linear entre duas variáveis. Utilizamos o coeficiente de correlação de Pearson para quantificar essa relação, que varia de -1 a 1. Valores próximos de 1 indicam uma correlação positiva forte, significando que, à medida que uma variável aumenta, a outra tende a aumentar também. Por outro lado, valores próximos de -1 indicam uma correlação negativa forte, onde o aumento de uma variável está associado à diminuição da outra. Valores próximos de 0 sugerem pouca ou nenhuma correlação linear entre as variáveis.

A interpretação dos valores de correlação é crucial para entender as relações entre as variáveis estudadas. Uma correlação positiva forte pode indicar que variáveis como horas de estudo e desempenho acadêmico estão fortemente relacionadas, sugerindo que mais horas de estudo estão associadas a melhores notas. Já uma correlação negativa forte pode ser observada em situações em que o aumento de uma variável, como o número de faltas, está associado a uma diminuição no desempenho acadêmico. Segundo Moore, McCabe e Craig (2012), "o coeficiente de correlação de Pearson é uma medida que quantifica a direção e a força de uma relação linear entre duas variáveis quantitativas".

No entanto, é essencial lembrar que correlação não implica causalidade. Como ressaltado por Field, "uma correlação significativa entre duas variáveis não implica que uma variável cause a outra; pode haver outras variáveis envolvidas". Portanto, mesmo que duas variáveis apresentem uma correlação forte, isso não significa necessariamente que uma causa a outra. Análises adicionais são necessárias para determinar a natureza dessas relações e para evitar conclusões precipitadas.

3.3.4 Análise com Base nos Quartis do Ácido Graxo e da Acidez do Óleo Refinado

Para compreender as variáveis que influenciam os parâmetros críticos do processo de refino de óleo, adotou-se uma abordagem baseada na análise de quartis, utilizando os valores superiores (quantil 0,75) e inferiores (quantil 0,25) de duas variáveis principais: o teor de ácido graxo e a acidez do óleo refinado. Essa metodologia, amplamente utilizada em estudos estatísticos de controle de qualidade e processos industriais (MONTGOMERY, 2017), permitiu explorar de maneira detalhada os extremos dessas distribuições e identificar possíveis correlações com outras variáveis do processo, como umidade, clorofila, sabões, densidade e compostos peroxídicos.

O cálculo dos quartis foi realizado para segmentar as amostras em subconjuntos estatisticamente relevantes. O quartil inferior (Q1) representou os 25% menores valores de cada

parâmetro, enquanto o quartil superior (Q3) capturou os 25% maiores valores. Essa segmentação é uma ferramenta eficaz para explorar dados extremos e identificar padrões ou desvios de comportamento em processos industriais (BOX, HUNTER & HUNTER, 2005).

Essa abordagem contribuiu para correlacionar os extremos das variáveis principais com outras métricas de controle de qualidade. Dessa maneira, foi possível identificar tendências e padrões no processo de refino. Além disso, o uso dos quartis garantiu uma análise capaz de isolar os casos mais críticos sem desconsiderar o comportamento geral das variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesta seção foram obtidos a partir das análises realizadas ao longo do estudo, seguindo as etapas descritas na metodologia. Para compreender as relações entre os parâmetros físico-químicos em diferentes etapas do processo, foi inicialmente gerado um mapa de calor da correlação entre as variáveis. A Figura 2 apresenta esse mapa.

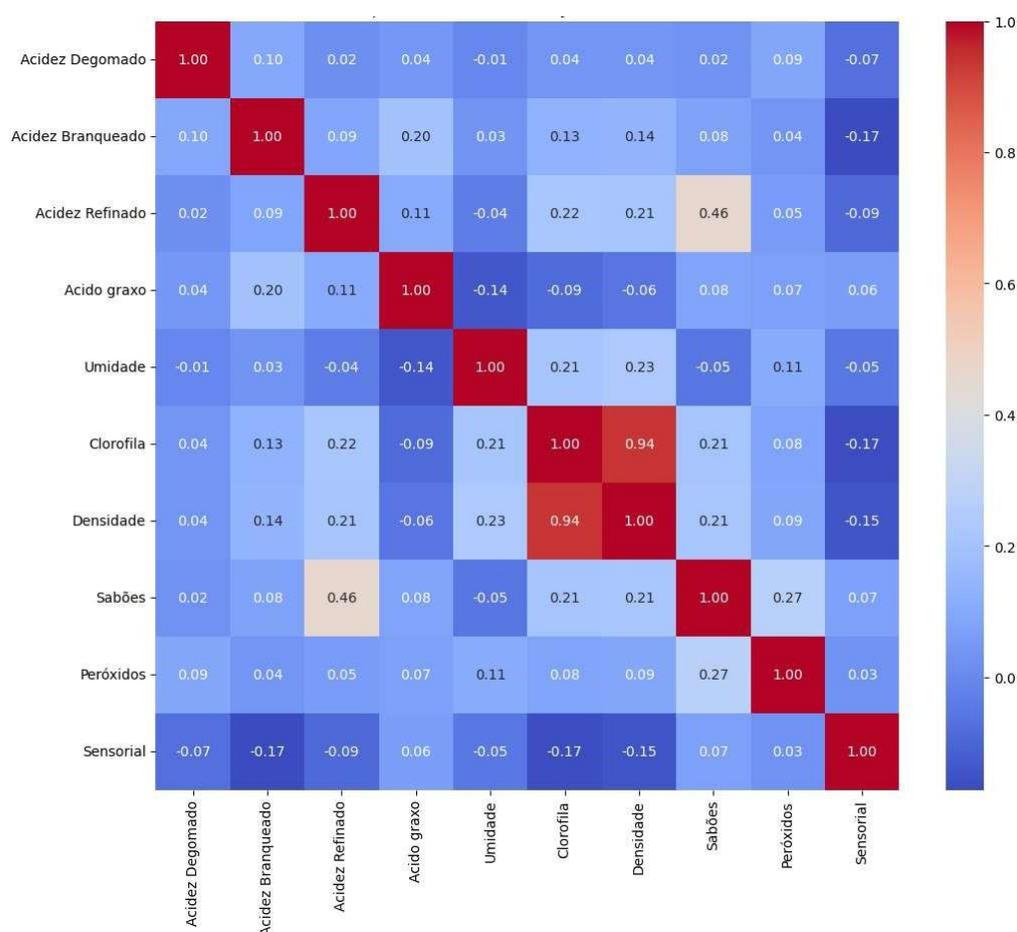


Figura 2 – Mapa de calor de correlação entre as variáveis físico-químicas do óleo de soja.

Nota: autoria própria.

A partir desse mapa, observou-se a relação entre os níveis de sabões e a acidez do óleo refinado, com um coeficiente de 0,46. Esse comportamento sugere que a formação de sabões

durante a neutralização dos ácidos graxos livres pode estar diretamente relacionada ao controle da acidez final do óleo. Esse achado aponta para a necessidade de otimizações na etapa de neutralização, garantindo a remoção eficaz dos ácidos graxos e minimizando a presença de sabões residuais no produto final. Isso poderia resultar em um óleo mais puro e com melhores características físico-químicas.

Além disso, verificou-se uma correlação leve entre a remoção de clorofila e os níveis de umidade, com um coeficiente de 0,21. Embora essa relação seja menos expressiva, ela sugere que as condições operacionais responsáveis pela remoção de pigmentos também podem influenciar a retenção de umidade no óleo. Como a umidade é um fator crítico para a estabilidade do produto durante o armazenamento, esse resultado destaca a necessidade de um equilíbrio entre a remoção eficiente da clorofila e o controle rigoroso da umidade, garantindo que ambas as variáveis estejam dentro dos limites aceitáveis.

Os dados também indicaram que os parâmetros físico-químicos analisados não apresentaram correlações significativas com a qualidade sensorial do óleo, visto que os coeficientes relacionados a essa variável foram baixos ou até negativos. Isso sugere que a qualidade sensorial pode ser influenciada por outros fatores não considerados na análise atual, como compostos voláteis formados durante as etapas finais do refino.

Um ponto de destaque foi a relação moderada entre os níveis de peróxidos e sabões, com um coeficiente de 0,27. Esse resultado sugere que pode haver uma interdependência entre a formação de sabões e os processos de degradação oxidativa, seja pela atuação de fatores operacionais similares ou pela presença de contaminantes comuns. A compreensão mais detalhada dessa relação pode fornecer insights para estratégias de mitigação que reduzam simultaneamente os níveis de peróxidos e de sabões, garantindo maior estabilidade oxidativa ao óleo refinado e prolongando sua vida útil.

Outro aspecto analisado neste estudo foi a distribuição da porcentagem de ácido graxo removida diariamente durante a produção de óleo refinado. Esse parâmetro reflete a eficiência do processo de refino na eliminação dos ácidos graxos livres, compostos indesejáveis devido o impacto negativo que podem causar na qualidade do produto final, incluindo sabor, odor e estabilidade. A Figura 3 apresenta a distribuição dessa remoção ao longo do período analisado.

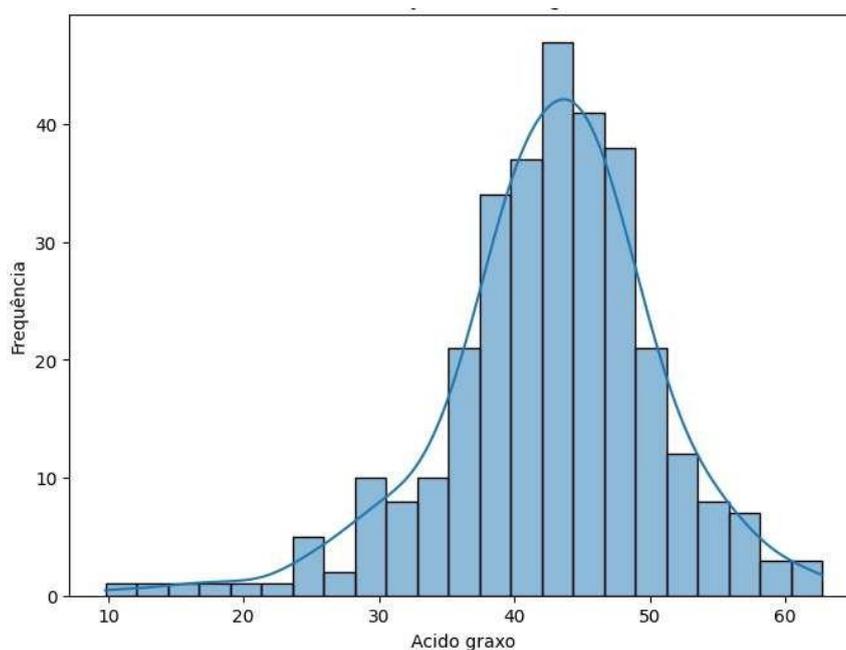


Figura 3 – Histograma da distribuição do percentual de remoção de ácido graxo.

Nota: autoria própria.

A análise do histograma revela uma distribuição que se aproxima de uma curva normal, com a maior frequência de valores concentrada em torno de 40%. Isso indica que, na maioria dos dias, o processo de refino consegue remover aproximadamente 40% do ácido graxo presente no óleo. Esse dado reflete uma operação consistentemente controlada, onde a eficiência diária do processo gira em torno de um ponto médio, sugerindo que as condições operacionais padrão são mantidas de forma estável.

Observa-se também que a distribuição é relativamente simétrica, com desvios tanto para valores mais baixos quanto para valores mais altos ocorrendo em menor frequência. Valores na cauda esquerda, próximos a 10%, indicam dias em que o processo foi menos eficiente, possivelmente devido a fatores como dosagem inadequada de agentes neutralizantes, variações de temperatura ou tempo insuficiente de reação. Por outro lado, os valores na cauda direita, acima de 50%, representam dias em que a eficiência foi excepcionalmente alta, sugerindo uma otimização temporária das condições operacionais que precisam ser investigadas.

O pico central da distribuição reflete uma zona de estabilidade operacional, evidenciando que os procedimentos padrão adotados têm se mostrado eficazes na remoção de ácido graxo. No entanto, a presença de desvios extremos, tanto à esquerda quanto à direita, reforça a necessidade de um monitoramento contínuo e detalhado das condições do processo. Esses desvios podem ser correlacionados a outros fatores operacionais, como a formação de

sabões ou o nível de peróxidos, permitindo uma análise mais aprofundada das interações entre as variáveis e possibilitando ajustes direcionados para melhorar ainda mais a eficiência e a previsibilidade do refino do óleo.

A análise dos quartis superiores e inferiores dos valores de ácido graxo contribui para identificar possíveis fatores que interfiram para a maior ou menor concentração da eliminação deste composto durante o processo de refino do óleo, conforme é observado na Tabela 1, onde é feito uma correlação entre os parâmetros físico-químicos analisados em relação aos níveis de ácido graxo.

Tabela 1 – Correlação do Ácido Graxo com demais Parâmetros Físico-Químicos

Parâmetros Físico-Químicos	Correlação Quartil Superior	Correlação Quartil Inferior
Acidez Degomado	-0.1737	-0.1341
Acidez Branqueado	-0.0900	-0.0015
Acidez Refinado	-0.0004	0.0298
Umidade	0.0030	-0.2351
Clorofila	0.1068	-0.2615
Densidade	0.1353	-0.2250
Sabões	-0.1803	0.1416
Peróxidos	-0.1388	0.0500
Sensorial	-0.3988	0.0063

Nota: autoria própria.

A análise do quartil superior mostrou correlações predominantemente negativas entre os níveis elevados de ácido graxo e diversas variáveis. O índice sensorial apresentou a correlação mais expressiva de -0.39, sugerindo que concentrações mais altas de ácidos graxos livres estão diretamente associadas a uma pior percepção da qualidade do óleo refinado. Esse resultado reforça o impacto negativo que esses compostos podem ter sobre atributos sensoriais, como sabor e odor, além de comprometer a estabilidade oxidativa do produto final.

Outras variáveis, como a acidez no óleo degomado com -0.17 e o índice de peróxidos com -0.13, também apresentaram correlações negativas, embora em menor intensidade, sendo a correlação negativa com os sabões de -0.18 indicando que a formação adequada desses compostos pode auxiliar na remoção de ácidos graxos, possivelmente otimizando a neutralização e minimizando resíduos indesejáveis no óleo refinado.

Por outro lado, algumas variáveis apresentaram correlações positivas com os níveis mais altos de ácido graxo. Destacam-se a densidade com 0.13 e a clorofila com 0.10, que, embora apresentem coeficientes de baixa magnitude, sugerem uma relação entre maiores concentrações de ácido graxo e a presença de pigmentos e alterações nas propriedades físicas do óleo.

No contexto do quartil inferior, que contempla os dias de menor teor residual de ácido graxo, algumas variáveis apresentaram correlações negativas mais expressivas. Entre elas, destacam-se a clorofila de -0.26, a umidade de -0.23 e a densidade de -0.22. Esses coeficientes sugerem que dias em que esses parâmetros estão elevados coincidem com uma menor eficiência na remoção de ácido graxo. A relação observada com a clorofila pode indicar que óleos com maior concentração de pigmentos verdes apresentam dificuldades adicionais durante o tratamento, possivelmente demandando ajustes operacionais mais específicos. De forma semelhante, a presença de umidade elevada pode interferir negativamente na neutralização dos ácidos graxos, seja por afetar o equilíbrio das reações químicas ou por diluir os agentes neutralizantes. No caso da densidade, sua correlação negativa sugere que variações nas propriedades físicas do óleo influenciam a eficiência da separação dos ácidos graxos ao longo do refino.

De maneira interessante, os sabões ($r = 0.14$) mostraram uma correlação positiva, ainda que de baixa magnitude. Esse resultado indica que, em alguns casos, a formação de sabões pode coincidir com uma eficiência reduzida na remoção de ácido graxo. Uma possível explicação para esse fenômeno é que, se não for adequadamente controlada, a formação excessiva de sabões pode saturar o sistema e dificultar a separação completa dos ácidos graxos. No entanto, dada a baixa intensidade da correlação, esse fator não pode ser considerado um determinante principal para a remoção ineficiente observada em alguns dias.

A variável sensorial com apenas 0.006 pontos apresentou uma correlação praticamente nula, indicando que os dias com menor eficiência na remoção de ácido graxo não impactaram significativamente os atributos sensoriais do óleo. Esse resultado sugere que a percepção organoléptica do produto final pode estar mais fortemente associada a outros fatores além do teor de ácidos graxos livres.

Prosseguindo com a análise dos quartis superiores e inferiores, na Tabela 2 é possível visualizar as variáveis físico-químicas correlacionadas à acidez final do óleo após ser totalmente refinado. A avaliação desses valores permite compreender melhor os fatores que influenciam os níveis de acidez final do produto.

Na análise dos valores de acidez do óleo refinado acima do terceiro quartil (quartil 0.75) destaca-se a forte correlação positiva com os sabões de 0,77, evidenciando a relação direta entre a presença de resíduos alcalinos e o aumento da acidez no óleo refinado. Esse comportamento sugere que falhas nas etapas de neutralização ou lavagem podem resultar em uma remoção ineficaz desses compostos, levando à retenção de sabões residuais. Como esses sabões são formados pela reação entre ácidos graxos livres e agentes alcalinos, sua permanência no óleo

pode comprometer a estabilidade química, bem como as características sensoriais do produto final.

Tabela 2 – Correlação da Acidez Final do Óleo Refinado com demais Parâmetros Físico-Químicos

Parâmetros Físico-Químicos	Correlação Quartil Superior	Correlação Quartil Inferior
Acidez Degomado	-0.0107	0.0875
Acidez Branqueado	-0.0369	0.0666
Acidez Graxo	0.0394	0.0041
Umidade	-0.1547	0.1715
Clorofila	0.2433	-0.0874
Densidade	0.2770	-0.1043
Sabões	0.7721	-0.1081
Peróxidos	-0.0580	-0.0473
Sensorial	0.0296	-0.1690

Nota: autoria própria.

A densidade e a clorofila (0,27 e 0,24 respectivamente) também apresentaram uma correlação positiva notável com os níveis elevados de acidez. Esse comportamento pode estar associado à retenção de compostos pigmentares que dificultam a remoção eficiente dos ácidos graxos livres, onde óleos com maior teor de pigmentos naturais tendem a apresentar dificuldades adicionais no refinamento. Essa correlação pode ser explicada pela necessidade de ajustes mais rigorosos nas etapas de branqueamento e neutralização, uma vez que a remoção incompleta da clorofila pode estar associada a uma eficiência reduzida na remoção da acidez.

Algumas variáveis apresentaram correlações negativas de menor magnitude. A umidade com -0,15 mostrou-se inversamente correlacionada com a acidez do óleo refinado, indicando que lotes de óleo com menores teores de umidade podem estar associados a valores mais elevados de acidez. Esse comportamento pode estar relacionado a processos de desidratação mais intensos ou ao uso de temperaturas mais elevadas durante o processamento, fatores que podem favorecer a concentração residual de ácidos graxos livres. Esse achado reforça a hipótese de que a acidez final do óleo é predominantemente influenciada por fatores específicos, como a presença de sabões residuais e a composição química do óleo bruto.

A análise dos 25% menores valores de acidez do óleo refinado revelou um comportamento oposto, destacando variáveis que podem estar associadas a uma remoção mais eficiente dos ácidos graxos livres. A umidade apresentando 0,17 pontos foi a variável com a correlação positiva mais significativa com os menores valores de acidez, sugerindo que óleos com maior teor de umidade podem apresentar uma redução mais eficiente da acidez. Isso pode

ocorrer devido à maior eficiência em reações químicas que reduzem os níveis de ácidos graxos livres na presença de água, favorecendo a neutralização e a remoção desses compostos do óleo.

A acidez do óleo degomado (0,08) e do óleo branqueado (0,06) apresentaram correlações positivas, embora de baixa magnitude, com os menores valores de acidez refinada. Esse comportamento sugere que a acidez nessas etapas não está diretamente relacionada à eficiência das operações subsequentes do refino na redução dos níveis de acidez. O ácido graxo (0,03) demonstrou uma correlação praticamente neutra, sugerindo que seus níveis não exercem uma influência relevante sobre os valores mais baixos de acidez refinada.

Os resultados evidenciam a importância do controle de variáveis como umidade, clorofila e sabões ao longo do processo de refino. A remoção eficiente desses elementos parece desempenhar um papel fundamental na obtenção de óleos com baixos níveis de acidez ao final do processo de refino, contribuindo para um produto de maior qualidade e em conformidade com os padrões exigidos pela indústria.

Outros autores também encontraram resultados semelhantes em relação aos níveis de ácidos graxos de óleos vegetais refinados, como, por exemplo, Oliveira (2001) observou que o aumento da acidez está relacionado a variáveis como temperatura, presença de sabões no óleo e umidade. Esses fatores podem contribuir para a elevação dos níveis de ácidos graxos livres, alinhando-se aos resultados apresentados neste estudo.

Cardoso et al. (2010), ao investigarem as características físico-químicas de azeites de oliva, destacaram que fatores como maturação do fruto, manejo pós-colheita, ação enzimática e qualidade da matéria-prima influenciam diretamente a acidez do produto. Analogamente, no contexto do óleo de soja, práticas como armazenamento adequado dos grãos, extração eficiente do óleo e uma degomagem dentro dos padrões de qualidade podem resultar em menores níveis de acidez final do produto.

Tofanini (2004) enfatizou a relevância das etapas de neutralização, clarificação e desodorização no processo de refino de óleos comestíveis para a redução da acidez e melhoria da qualidade do óleo final. O autor ressaltou que uma neutralização eficiente é crucial para diminuir a acidez dos óleos degomados, corroborando os achados deste estudo.

Além disso, Vieira (2022) investigou a estabilidade oxidativa de óleos vegetais refinados e apontou que fatores como a quantidade de oxigênio presente, o grau de insaturação dos ácidos graxos e a presença de compostos pró-oxidantes influenciam a formação de ácidos graxos livres, variáveis que não foram analisadas nesse estudo e que poderiam corroborar para resultados mais amplos sobre a oxidação do óleo de soja refinado.

Cella (2019), ao analisar o comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura,

observou que o tempo e a temperatura de aquecimento são determinantes na degradação do óleo, afetando diretamente o aumento da acidez, indicando que o controle operacional da temperatura nos processos de branqueamento e desodorização poderiam ser outros fatores que afetariam a qualidade final do produto, fatores esses que sequer são analisados no processo estudado. Porém, a distribuição normal do percentual de remoção de ácido graxo pode indicar que a temperatura não seja um fator fundamental, indo em contrapartida ao citado pela autora.

É importante ressaltar que, o óleo degomado apresenta um teor residual de clorofila, cuja eliminação completa é um desafio ao longo do processo de refino. A remoção desse pigmento ocorre principalmente durante as etapas de neutralização e branqueamento, onde a ação dos agentes químicos e a filtração contribuem para a purificação do óleo. No entanto, quando a filtração não é suficientemente eficiente, a remoção da clorofila torna-se incompleta, assim como a eliminação dos sabões residuais.

Na unidade estudada, identificou-se que a filtração utilizada não era totalmente eficaz, resultando na retenção de sabões no produto final. Embora esse problema não fosse facilmente perceptível no controle diário da produção, sua influência sobre a qualidade do óleo refinado se tornou evidente a partir das análises realizadas neste estudo. A presença residual de sabões compromete não apenas a estabilidade química do óleo, mas também sua qualidade sensorial e aceitabilidade no mercado.

Essa constatação evidencia a importância de um monitoramento mais eficaz da filtração e de ajustes operacionais que garantam a remoção adequada de impurezas. O aprimoramento desse processo não apenas elevaria a qualidade do produto final, mas também evitaria a necessidade de correções posteriores, tornando o refino mais eficiente e alinhado aos padrões de excelência exigidos.

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, a coleta de dados foi realizada previamente ao início desta pesquisa, o que implica que os dados utilizados já estavam disponíveis e não puderam ser ajustados conforme as necessidades específicas do estudo. Além disso, a impossibilidade de realizar uma análise detalhada dos outliers individualmente pode ter influência nos resultados apresentados, uma vez que esses valores atípicos não puderam ser investigados em profundidade. A ausência de possibilidade de intervenção no processo durante a coleta de dados também impediu a verificação de como ajustes específicos poderiam alterar os resultados finais. Essas limitações sugerem que estudos futuros devem considerar a coleta de dados em tempo real e a análise individualizada de outliers para uma compreensão mais aprofundada dos fatores que influenciam a qualidade do óleo de soja refinado.

CONCLUSÕES

Este estudo se propôs a analisar a qualidade do refino do óleo de soja ao longo de 14 meses, de fevereiro de 2023 a março de 2024, com base em dados laboratoriais que avaliaram índices de acidez, sabões residuais, densidade e teor de clorofila, peróxidos e perfil sensorial. O objetivo foi compreender como essas variáveis interagem e impactam o produto.

Os resultados evidenciaram que a acidez final do óleo refinado e o teor de ácido graxo são fortemente influenciados por fatores como umidade, clorofila, sabões e compostos peroxídicos. A correlação entre acidez elevada e teores mais altos de clorofila sugere que a remoção eficiente desses pigmentos é essencial para a estabilidade química e organoléptica (Cor, Odor, Sabor, Textura e Aparência) do óleo. Da mesma forma, a presença de sabões mostrou relação direta com a acidez do refinado, indicando a necessidade de maior controle na neutralização e lavagem para evitar resíduos indesejáveis.

Já a umidade apresentou associação com os menores valores de acidez, sugerindo que pode desempenhar um papel relevante na remoção de compostos ácidos, enquanto a redução do ácido graxo mostrou-se mais dependente da eficiência das etapas iniciais, como degomagem e branqueamento, opondo-se aos resultados da acidez refinada em si. Além disso, o controle rigoroso desses parâmetros revelou impacto positivo na qualidade sensorial, reforçando que a estabilidade do óleo resulta de uma abordagem integrada do processo.

Por fim, a análise revelou que o índice sensorial, embora pouco impactado por algumas variáveis isoladas, se beneficia significativamente de uma acidez mais baixa e de um controle rigoroso dos parâmetros químicos e físicos ao longo do refino. Assim, garantir a qualidade do óleo refinado requer uma abordagem holística, onde os fatores químicos e operacionais sejam periodicamente monitorados e ajustados para atender aos padrões de qualidade esperados do produto.

Portanto, os achados deste estudo demonstram a importância de um controle preciso e multivariado das etapas de refino para minimizar a acidez e otimizar a qualidade do óleo. Estratégias que aprimorem a remoção de contaminantes podem não apenas garantir um produto mais estável e aceitável ao consumidor, mas também reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência industrial. Para pesquisas futuras, sugere-se explorar o impacto de diferentes parâmetros físico-químicos do óleo bruto na qualidade e efetividade do refino do óleo, visando entender ainda mais a correlação destas variáveis com não-conformidades no produto final.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019). NBR 14448: *Óleos e gorduras vegetais refinados – Determinação da acidez*. Rio de Janeiro.
- Bailey, A. E. (2005). *Bailey's industrial oil and fat products* (6th ed.). Wiley.
- Box, G. E. P., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for experimenters: Design, innovation, and discovery* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Cardoso, L. G. V., Barcelos, M. F. P., Oliveira, A. F., Pereira, J. A. R., Abreu, W. C., Pimentel, F. A., Cardoso, M. G., & Pereira, M. C. A. (2010). *Características físico-químicas e perfil de ácidos graxos de azeites obtidos de diferentes variedades de oliveiras introduzidas no Sul de Minas Gerais – Brasil*. Embrapa.
- Carr, R. A. (2013). *Refining of oils and fats for edible purposes*. Springer.
- Cella, C. (2019). *Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura: degradação térmica e impacto na acidez* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Departamento de Tecnologia de Alimentos.
- Dorsa, R., & Eickhoff, K. P. (1995). *Tecnologia de processamento de óleos, gorduras e vegetais derivados* (3rd ed.). Westfalia Separator do Brasil LTDA.
- EMBRAPA. (2015) *Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos*. (2. Ed). Embrapa Soja - Londrina.
- Erickson, D. R. (1995). *Practical handbook of soybean processing and utilization*. AOCS Press. Fisher, R. A. (1970). *Statistical methods for research workers* (14th ed.). Oliver & Boyd.
- Gunstone, F. D. (2004). *Refining vegetable oils*. Blackwell Publishing. Gunstone, F. D. (2008). *Oils and fats in the food industry*. Wiley-Blackwell.
- Gunstone, F. D. (2011). *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Gupta, M. K. (2017). *Practical guide to vegetable oil processing* (2nd ed.). Elsevier. Harris, C. R., et al. (2020). *Array programming with NumPy*. Nature, 585, 357–362. Hui, Y. H. (1996). *Bailey's industrial oil and fat products*. Wiley.
- ISO - International Organization for Standardization. (2020). *ISO 660: Animal and vegetable fats and oils – Determination of acid value and acidity*.
- McKinney, W. (2010). *Data structures for statistical computing in Python*. Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 51–56.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2006). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.). CRC Press. Montgomery, D. C. (2017). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons.

- Moore, D. S., McCabe, G. P., & Craig, B. A. (2012). *Introduction to the practice of statistics*. W.H. Freeman.
- Nielsen, S. (2017). *Food analysis laboratory manual* (2nd ed.). Springer.
- Nielsen, S. S. (2010). *Food analysis* (4th ed.). Springer.
- Oliveira, L. S. (2001). *Influência de variáveis operacionais no processo de clarificação de óleos vegetais* (Master's dissertation). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- Shahidi, F. (2005). *Bailey's industrial oil and fat products* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Srigley, C. T.; LI, Z. (2017) *A novel method for the quantification of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) in gummy dietary supplements*. Journal of Food Composition and Analysis.
- Tofanini, A. J. (2004). *Controle de qualidade de óleos comestíveis* (Doctoral dissertation). Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis.
- Triola, M. F. (2018). *Elementary statistics* (13th ed.). Pearson.
- Venkatesh, V.; Brown, S. A.; Iyer, B. (2013) *Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems*. MIS Quarterly.
- Vieira, F. M. (2022). *Estabilidade oxidativa de óleos vegetais refinados e influência das condições de armazenamento* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Alimentos.

Avaliação do ciclo de vida na movimentação de contêineres: Mensuração de emissões e proposição de estratégias para transição sustentável

Maria Cecília Ferrari de Carvalho Teixeira (cecilia.ferricarvalho@gmail.com)

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique Lermen (fernando.lermen@unespar.edu.br)

Coorientadora: Dra. Janaine Fernanda Gaelzer Timm - Université Gustave Eiffel
(janainetimm@hotmail.com)

Resumo: O setor portuário enfrenta desafios significativos devido às elevadas emissões de gases do efeito estufa, causadas pelo uso intensivo de equipamentos movidos a diesel durante a movimentação de contêineres. A ausência de estudos integrados e detalhados sobre os impactos ambientais dessas operações limita a implementação de estratégias sustentáveis no setor. Este estudo teve como objetivo mensurar emissões na movimentação de contêineres e propor estratégias para transição sustentável em um terminal portuário. A pesquisa utilizou a avaliação do ciclo de vida, conforme as diretrizes das normas ISO 14040 e 14044, complementada por análises de sensibilidade e um grupo focal com stakeholders estratégicos. Os resultados indicaram que a substituição de equipamentos movidos a diesel por versões elétricas pode reduzir significativamente as emissões de CO₂, além de melhorar a eficiência energética e operacional. A eletrificação dos equipamentos, as rotas eficientes das cargas, o monitoramento contínuo das emissões e a capacitação de profissionais emergem como estratégias essenciais para a transição energética no setor. Além disso, o estudo destaca que a colaboração entre portos e *stakeholders* pode acelerar a adoção de tecnologias sustentáveis, melhorando a eficiência operacional e a conformidade ambiental. A aplicação da técnica, combinada com métodos quantitativos e qualitativos, representa uma abordagem robusta para apoiar políticas públicas e práticas sustentáveis no setor portuário

Palavras-chave: Pensamento do ciclo de vida; Impactos ambientais; Operações portuárias; Tomada de decisão; Sustentabilidade.

Life cycle assessment in container handling: Emission measurement and proposal of strategies for sustainable transition

Abstract: The port sector faces significant challenges due to high greenhouse gas emissions caused by the intensive use of diesel-powered equipment in container handling. The lack of integrated and detailed studies on the environmental impacts of these operations limits the

implementation of sustainable strategies in the sector. This study aims to measure emissions in container handling and propose strategies for a sustainable transition in a port terminal. The research applied life cycle assessment following the guidelines of ISO 14040 and 14044 standards, complemented by sensitivity analyses and a focus group with decision-makers. The results indicated that replacing diesel-powered equipment with electric versions can significantly reduce CO₂ emissions while improving energy and operational efficiency. The electrification of equipment, efficient cargo routing, continuous emission monitoring, and workforce training emerge as essential strategies for the sector's energy transition. Additionally, the study highlights that collaboration between ports and stakeholders can accelerate the adoption of sustainable technologies, improving operational efficiency and environmental compliance. The application of this technique, combined with quantitative and qualitative methods, represents a robust approach to supporting public policies and sustainable practices in the port sector.

Keywords: Life cycle thinking; Environmental impacts; Port operations; Decision-making; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A movimentação eficiente de contêineres desempenha um papel crucial na economia global, viabilizando o comércio internacional e a distribuição de mercadorias (Misliyah, 2024; Kawachi & Shibasaki, 2024). Conforme a UNCTAD (2022), o transporte marítimo responde por mais de 80% do volume do comércio global, sendo essa predominância atribuída ao crescimento da demanda portuária. O aumento dessa demanda implica uma maior frequência de atracções e a intensificação das operações nos terminais, impactando diretamente a eficiência logística e a capacidade operacional do setor (Fanghu et al., 2024).

Além disso, o setor marítimo, que abrange portos, transporte e serviços, desempenha um papel essencial na economia global, contribuindo anualmente com cerca de US\$ 3 a 4 trilhões, segundo estimativas da ICS (2024). Esse impacto econômico evidencia a importância do transporte marítimo na movimentação de mercadorias e na dinâmica do comércio internacional. Nesse contexto, a eficiência das operações portuárias torna-se um fator essencial, uma vez que elementos como alocação de atracção, programação de guindastes, definição de rotas e transporte de cargas influenciam diretamente a variabilidade do consumo de energia (Bakar et al., 2021).

Por esta razão, a energia emerge como um recurso fundamental nas operações de movimentação de contêineres, tendo um impacto econômico significativo para as indústrias (Weerasinghe, Perera & Bai, 2024). Os custos associados ao consumo de energia são substanciais para os portos e instalações, destacando a importância da adoção de medidas para

sua redução (Zhang, Zeng & Wang, 2024), e essa crescente demanda por energia leva a custos mais elevados, além de aumentar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e outros poluentes (Sadiq et al., 2021). Dessa forma, os terminais precisam desenvolver um plano energético de médio e longo prazo que esteja alinhado com o planejamento portuário, incorporando novas soluções que contribuam para as estratégias sustentáveis (Clemente et al., 2023).

Sendo grandes consumidores de energia, as operações portuárias podem gerar impactos ambientais significativos, como a emissão de GEE, evidenciando a complexa relação entre o comércio marítimo e a preservação ecológica (Argyriou et al., 2022; Ferrario et al., 2021; Puig et al., 2024). Por outro lado, Hossain et al. (2021) destacam que o aumento das pressões socioeconômicas e ambientais tem levado as autoridades portuárias a implementar diversas iniciativas para tornar suas operações mais sustentáveis, alinhando-se às normas regulatórias e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Khalifeh & Caliskan, 2025).

Sob essa perspectiva, torna-se necessário um sistema de gestão ambiental que melhore a eficiência, reduza os custos de operações e minimize os impactos negativos sobre a saúde humana e para o ambiente (Braga, 2020). A avaliação do ciclo de vida (ACV) atua como uma técnica essencial para compreender o impacto ambiental de produtos e processos ao longo de seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o uso e descarte final dos recursos (Val & Lambán, 2024). Essa ferramenta permite a quantificação das consequências causadas durante o processo estudado. O uso dessa técnica é extensivo no que tange a diversos setores, como construção civil (Sahile et al., 2024), têxtil (Espinoza-Pérez, Espinoza-Pérez & Vásquez, 2024) e manufatura (Nikolakis et al., 2024). No entanto, no setor portuário existem estudos relacionados a ACV de combustíveis marítimos de navios (Zincir & Arslanoglu, 2024; Wang et al., 2024; Li et al., 2024) e apenas um estudo em que avalia os impactos de uma máquina de movimentação de container (Vujičić et al., 2013), porém este não considerou a transição sustentável.

Por esta razão, este estudo objetiva mensurar emissões na movimentação de contêineres e propor estratégias para transição sustentável em um terminal portuário, vinculado a área de engenharia da sustentabilidade da ABEPRO. Para isso, a ISO 14040 e 14044 (ISO, 2006) guiaram a realização da ACV, e ademais, foram utilizadas técnicas de tomada de decisão (grupo focal) para propor estratégias de implementação de soluções para redução dos impactos ambientais. Como contribuições teóricas, tem-se a exploração da ACV nesse contexto, além de destacar a importância de abordagens sustentáveis no transporte e movimentação de

contêineres. Em termos de contribuições práticas, busca-se quantificar os impactos específicos gerados pelo consumo energético, e propor estratégias para redução de impactos ambientais por empresas portuárias.

2. SUSTENTABILIDADE EM OPERAÇÕES PORTUÁRIAS

Nesta seção, apresentamos o referencial teórico, abordando três temas principais: (i) Impactos ambientais nas operações portuárias, (ii) Avaliação do ciclo de vida (ACV), e (iii) Consumo energético nas operações portuárias.

2.1. IMPACTOS AMBIENTAIS NAS OPERAÇÕES PORTUÁRIAS

O setor portuário no Brasil promove muitos benefícios econômicos, porém, as operações dos portos podem ser consideradas potenciais fontes de poluição devido à falta de equipamentos ecoeficientes, energias renováveis e profissionais qualificados no setor (Ducruet, 2024). As operações portuárias contribuem para a emissão de gases poluentes na atmosfera, a dispersão de partículas e a geração de resíduos sólidos e líquidos. Esses fatores representam desafios para a saúde dos trabalhadores, das comunidades próximas e das cidades nas quais os portos estão localizados (Kumar et al., 2021).

Quanto aos impactos dos gases poluentes emitidos em ambientes portuários, Trozzi Vaccaro (2024) destacam que o setor de transporte, diretamente relacionado aos portos, é atualmente um dos maiores poluidores, com efeitos cada vez mais visíveis. Neste contexto, a qualidade do ar na zona portuária, os poluentes atmosféricos e os materiais particulados em suspensão, geram diversos problemas de saúde para os trabalhadores e para as comunidades próximas (Tsai et al., 2024). A obtenção de dados de emissão mais precisos e investigação das fontes de emissão oferecem uma melhor possibilidade de apoiar a tomada de decisão para planos de redução de emissões, para rastrear o progresso e para criar visões reais sobre a produção de emissões (Cammin et al., 2020).

Por essa razão, os ambientes portuários foram se aprimorando e ganhando representatividade (Xiao et al., 2024) por meio de estudos sobre avaliação de impacto ambiental e estratégias de redução de emissões no transporte marítimo (Hoang & Pham, 2020). Por outro lado, as empresas recorrem frequentemente ao *greenwashing* como estratégia sustentável

(Qayyum, Jamil & Sehar, 2023), que se difunde em vários setores, incluindo bens de consumo, automotivo, moda e alimentos (Choudhury, Islam & Sujuddin, 2024). No entanto, essa prática refere-se a uma organização que induz potenciais consumidores a acreditar que suas práticas, produtos, serviços, objetivos ou políticas são ambientalmente sustentáveis, quando, na realidade, tais afirmações são inverídicas (von Flüe, Efferson & Vogt, 2024), não realizando uma avaliação dos impactos gerados nesses processos.

Nesse contexto, Hossain, Adams & Walker (2021) destacam que o aumento das pressões socioeconômicas e ambientais tem levado as autoridades portuárias a adotar diversas medidas para promover a sustentabilidade nas operações, alinhando-se diretamente aos ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima). O ODS 7 visa garantir o acesso de todos à energia acessível, confiável, sustentável e moderna, o que pode ser alcançado com a adoção de soluções energéticas eficientes, como a eletrificação de equipamentos portuários (Yang et. al., 2024). O ODS 12 foca na promoção de padrões de consumo e produção sustentáveis, que se refletem nas práticas de gestão de resíduos, otimização do uso de recursos e redução do impacto ambiental das operações (Jiang, 2024). Já o ODS 13 exige ações urgentes para combater as mudanças climáticas, sendo que a adoção de tecnologias verdes e a redução de emissões de gases de efeito estufa nas operações portuárias são passos essenciais para mitigar o impacto climático do setor (Xiao, 2024). Essas medidas ajudam a tornar as operações portuárias mais sustentáveis, promovendo um futuro mais resiliente e alinhado aos objetivos globais de sustentabilidade

2.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A preocupação com a sustentabilidade e a preservação ambiental tem ganhado destaque no cenário global, impulsionando a necessidade de avaliar e mitigar os impactos ambientais das atividades humanas (Zhou & Gu, 2024). Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) emerge como uma técnica fundamental para a compreensão abrangente dos impactos ambientais associados a produtos, processos e serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida (Warrier et al., 2024). Segundo Choudhary et al. (2024), a ACV proporciona uma abordagem abrangente, considerando desde a extração de matérias-primas até o descarte final, permitindo a identificação de pontos críticos e oportunidades para a implementação de melhorias sustentáveis.

Com o avanço das preocupações ambientais e a crescente compreensão dos impactos

globais das atividades humanas, a ACV evoluiu significativamente (Aparna & Baskar, 2024). A inclusão de diversas categorias de impacto ambiental, como aquecimento global, acidificação, eutrofização e toxicidade, permitiu uma avaliação mais abrangente e precisa dos impactos ambientais (Alexandre et al., 2014). De acordo com Berges-Alvarez (2024), a estrutura da ACV é composta por quatro fases principais, conforme estabelecido pelas normas ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006), sendo elas:

- Definição do objetivo e escopo: Estabelece o propósito da avaliação, delimitando os limites do sistema, as unidades funcionais e as categorias de impacto.
- Análise de inventário do ciclo de vida (ICV): Consiste na coleta de dados sobre os fluxos de materiais e energia ao longo de todas as etapas do ciclo de vida do produto.
- Avaliação do impacto do ciclo de vida: Analisa os dados do inventário para identificar e quantificar os impactos ambientais potenciais.
- Interpretação: Sintetiza os resultados das fases anteriores, permitindo a formulação de conclusões e recomendações para a tomada de decisão

A aplicação da ACV é ampla, abrangendo desde o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis até a gestão ambiental corporativa e a formulação de políticas públicas (Alhumoudi et al., 2024). No desenvolvimento de produtos, a ACV permite identificar materiais e processos com menor impacto ambiental, promovendo a inovação sustentável (Warrier et al., 2024). Na gestão ambiental corporativa, a ACV é utilizada para melhorar a sustentabilidade das operações e produtos (Hosamo et al., 2024).

Apesar de sua utilidade, a ACV apresenta desafios e limitações quanto à disponibilidade e à qualidade dos dados, que são cruciais para a precisão dos resultados, e muitas vezes esses dados podem ser incompletos ou imprecisos (Olanrewaju et al., 2024). Além disso, a interpretação dos resultados pode ser complexa, especialmente quando diferentes categorias de impacto apresentam resultados conflitantes (Samani, 2023). No entanto, ao adotar a ACV, é possível identificar oportunidades para a sustentabilidade, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e a promoção de práticas mais sustentáveis em diversos setores (Teixeira, 2023). A importância da ACV no campo da sustentabilidade é notória, e sua aplicação contínua e aprimorada é essencial para enfrentar os desafios ambientais globais.

2.3. CONSUMO ENERGÉTICO NAS OPERAÇÕES PORTUÁRIAS

As operações portuárias são atividades centrais para a economia global, facilitando a movimentação eficiente de bens e contribuindo significativamente para o desenvolvimento econômico (Buinwi, 2024). No entanto, esse papel essencial vem acompanhado de desafios consideráveis, particularmente em relação ao consumo de energia e aos impactos ambientais associados (Audi, 2024). Ainda segundo este autor, o consumo energético nas operações portuárias é um aspecto crítico que influencia tanto a eficiência operacional quanto a sustentabilidade ambiental dos portos.

As atividades de operação demandam energia significativa, incluindo a movimentação de contêineres (Weerasinghe et al., 2024), o funcionamento de equipamentos de elevação e transporte (Lamim, 2024), iluminação, aquecimento, refrigeração (Pu et al., 2020) e diversas outras infraestruturas de suporte. Cada uma dessas atividades contribui para o consumo total de energia de um porto e, conseqüentemente, para suas emissões de GEE (Lamim, 2024). A dependência de combustíveis fósseis tradicionais para essas operações, dissemina ainda mais as preocupações ambientais, tornando necessária a transição para fontes de energia mais limpas e eficientes (Kumar & Sharma, 2024). Com o aumento do comércio marítimo e a expansão contínua das infraestruturas portuárias, a gestão eficiente do consumo energético tornou-se um desafio para autoridades portuárias e gestores de terminais (Candeias, 2021). De acordo com Figueira (2023), a adoção de práticas de eficiência energética e a integração de tecnologias de energia renovável nas operações portuárias são medidas fundamentais para mitigar os impactos ambientais e reduzir os custos operacionais. A implementação de sistemas de gestão de energia pode ajudar a monitorar e otimizar o uso de energia, identificando oportunidades para melhorias e redução de desperdícios (Segun-Falade et al., 2024).

Além das considerações ambientais, a eficiência energética nas operações portuárias também está estreitamente ligada à competitividade econômica dos portos (Rodrigues Filho, 2023). Portos que conseguem reduzir seu consumo de energia podem diminuir seus custos operacionais, oferecendo serviços mais competitivos e atraindo mais negócios (Yin et al., 2024). Isso é relevante em um ambiente de negócios cada vez mais competitivo, onde a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental são fatores diferenciadores para os clientes e *stakeholders* (Ismail et al., 2024).

A transição para operações portuárias mais sustentáveis envolve a adoção de diversas estratégias e tecnologias (Gerrero-Molina, 2024). A eletrificação de equipamentos de

movimentação de carga, a implementação de tecnologias de automação e a utilização de fontes de energia renovável, como a energia solar e eólica, são abordagens que podem contribuir significativamente para a redução do consumo energético e das emissões de GEE (Alhasnawi et al., 2024; Adelekan et al., 2024). Além disso, a promoção de práticas de conservação de energia, como a otimização dos processos logísticos e a manutenção regular dos equipamentos, desempenha um papel crucial na melhoria da eficiência energética (Figueira, 2023).

3. METODOLOGIA

Esta seção está dividida em quatro fases, sendo: (i) Escopo de aplicação, (ii) Avaliação do ciclo de vida, (iii) Análise de sensibilidade e (iv) Grupo focal. A pesquisa é classificada como método misto (Venkatesh, Brown & Bala, 2013), quantitativa pela aplicação da ACV e qualitativa pela realização do grupo focal e análise de conteúdo.

3.1. ESCOPO DE APLICAÇÃO

Esta pesquisa aborda a quantificação das emissões de CO₂ geradas pelas fontes de energia utilizadas na movimentação de contêineres em uma empresa de grande porte do setor portuário, localizada na região sul do Brasil. Anualmente, a companhia movimenta mais de 1 milhão de contêineres, com capacidade para alcançar 2,5 milhões. Seu faturamento médio é de 1 bilhão, e sua equipe conta com mais de 1.700 colaboradores ativos. A operação estudada opera com uma frota de equipamentos elétricos e a combustão, como visto na Figura 1.

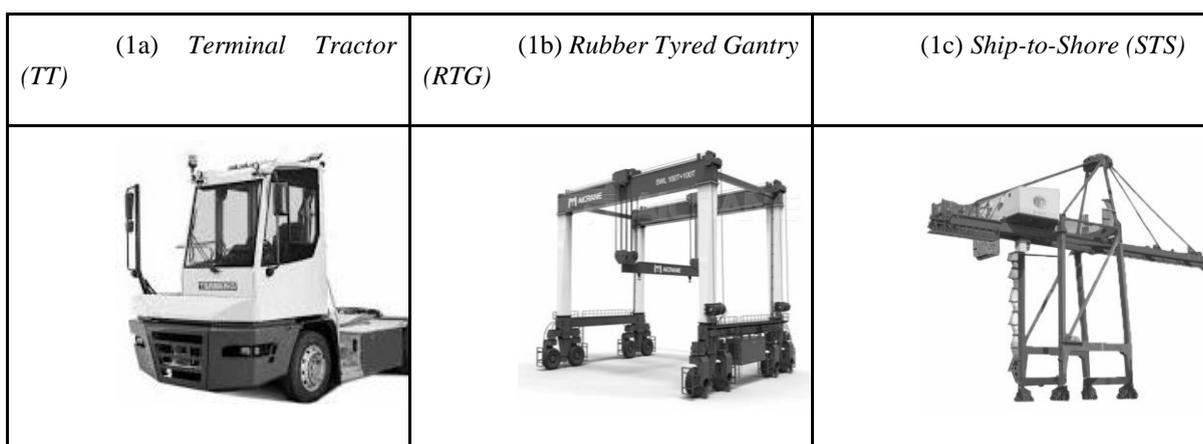


Figura 1 – Frota de equipamentos portuários.

Nas Figuras 1a e 1b, destacam-se os equipamentos movidos por combustão: o *Terminal Tractor (TT)*, utilizado no transporte dos contêineres na área de armazenamento, e o *Rubber Tyred Gantry (RTG)*, responsável pelo deslocamento dos contêineres nos blocos. Já na Figura 1c, observa-se o *Ship-to-Shore (STS)*, um equipamento movido a eletricidade que realiza o carregamento e descarregamento das unidades no navio.

A coleta de dados foi realizada ao longo de seis meses, com o objetivo de levantar informações sobre as operações de movimentação de contêineres que utilizam os equipamentos mencionados. Durante esse período, foram extraídas bases anuais sobre o consumo de energia, manuais dos equipamentos analisados e a média do tempo de cada operação, com base em fontes fornecidas pela empresa. Os dados relacionados ao tempo de operação consideraram a média de movimentação de um contêiner de 34 toneladas, correspondente a uma unidade de 40 pés (do inglês, *Forty-Foot Equivalent Unit*- FEU). Esses dados foram utilizados para calcular o consumo energético de cada atividade envolvida na movimentação de uma unidade, possibilitando uma abordagem detalhada e escalonada na operação analisada.

3.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O objetivo da ACV é avaliar e medir os impactos ambientais, neste estudo, essa técnica permitirá identificar pontos críticos no processo, propor melhorias e estratégias sustentáveis, além de fornecer informações para a tomada de decisões assertivas visando a mitigação dos impactos. Neste estudo, utilizou-se uma unidade funcional (UF) como medida de referência para mensurar e capturar de forma completa os aspectos funcionais relevantes do sistema de produto (ABNT, 2014a; 2014b). Para fins de cálculo, a UF foi baseada na movimentação de 1 container de 34 ton desde a chegada no porto até o carregamento no navio.

Com base na unidade definida, foi mapeado um sistema de produto, que inclui todas as etapas envolvidas na movimentação de um contêiner, desde a chegada ao porto até o destino final. As fronteiras do sistema produto definiram quais processos serão considerados na ACV (linhas tracejadas). O fluxo do sistema produto pode ser visto na Figura 2, no qual são demonstrados os processos analisados neste estudo.

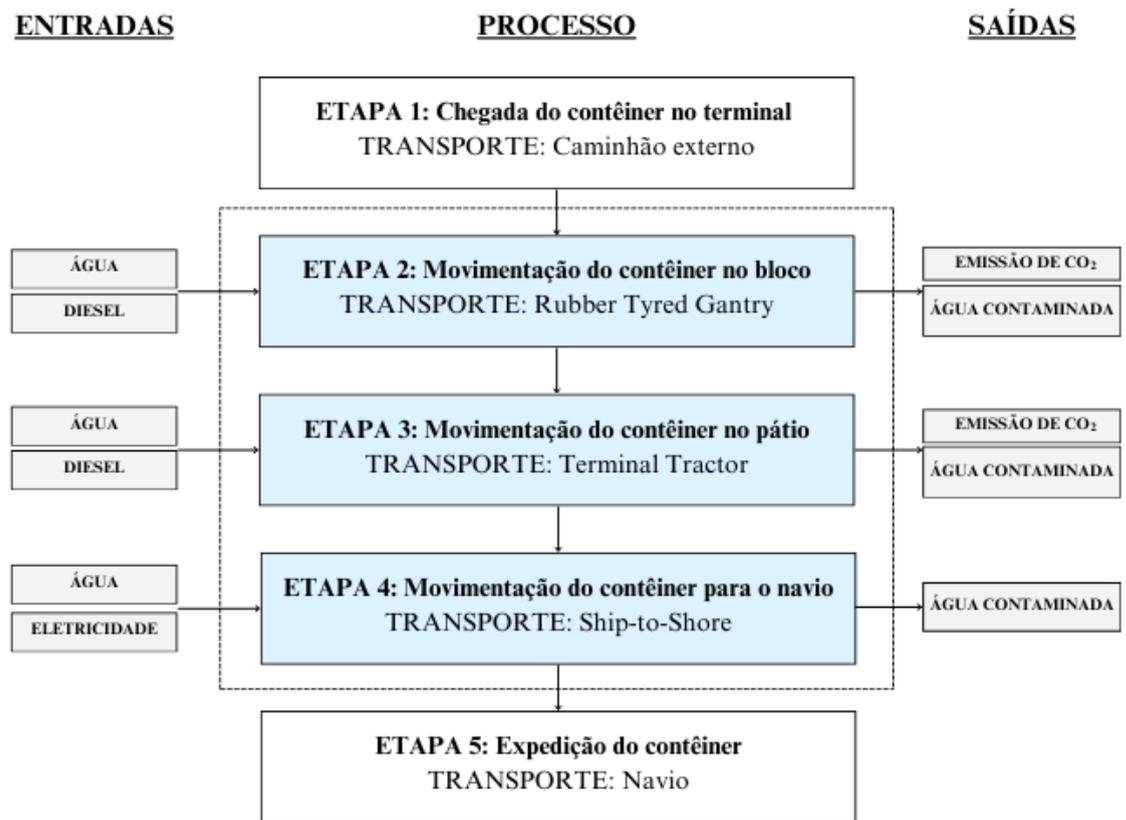


Figura 2 – Sistema de produto estudado.

Nota: As etapas consideradas nesta pesquisa estão na área interna delimitada pela linha tracejada, denominada como fronteiras do sistema

Por meio da Figura 2, é possível observar todo o fluxo envolvido na movimentação de contêineres, que inclui a chegada ao terminal, a movimentação interna e a saída da unidade, além do processo de lavagem dos equipamentos. Esse ciclo faz parte da cadeia de valor em que o processo está inserido.

No presente estudo, o fluxo a ser analisado na ACV está destacado na parte central do sistema de produto, sendo elas: movimentação do contêiner no bloco; movimentação do contêiner no pátio e movimentação do contêiner para o navio. Na cadeia de valor estudada, não foram consideradas a infraestrutura de escritório/armazéns, transporte rodoviário externo e interno, transporte aquaviário, transporte ferroviário e manutenção dos equipamentos de movimentação de contêineres. Essa exclusão foi definida para delimitar o escopo da análise, concentrando-se exclusivamente nas operações de movimentação interna de carga e descarga, abrangendo trajetos específicos dos blocos de armazenamento até o berço mais distante de atracação dos navios.

Após o mapeamento do sistema de produto foram estabelecidas as etapas para cada fase do processo e os equipamentos utilizados, bem como os insumos, que baseiam nos recursos utilizados para cada atividade a ser realizada. Neste caso, as fontes de energia, proveniente dos equipamentos, sendo diesel e eletricidade, e a água como matéria-prima/recurso do processo de lavagem desses equipamentos. A Tabela 1 apresenta os dados empregados para análise de inventário do ciclo de vida.

Tabela 1 - Dados técnicos para análise de inventário.

Cenário atual							
Processo	Equipamento	Insumo	Quant. insumo	Unidade	Processo Ecoinvent v. 3.6	Unidade do Ecoinvent v. 3.6	Impacto para 1 unidade
Deslocamento do contêiner do bloco até o TT	RTG	Diesel	1,43	L	<i>market for diesel, burned in building machine / diesel, burned in building machine / Cutoff, U - GLO</i>	1 MJ (36 MJ/l) ou 0.028 l	9,06E-02
Deslocamento do TT pelo pátio até o berço	TT	Diesel	39,39	ton/km	<i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 - Cutoff, U - RoW</i>	1 ton/km	2,24E-01
Deslocamento do contêiner do berço até o navio	STS	Eletricidade	4,87	kWh	<i>market for electricity, high voltage / electricity, high voltage / Cutoff, RoW</i>	1 kg	3,62E-01
Lavagem	Lavador	Água	0,06	L	<i>tap water production, conventional treatment / tap water / Cutoff, RoW</i>	1 kWh	2,00E-04
Cenário Sustentável							
Processo	Equipamento	Insumo	Quant. insumo	Unidade	Processo Ecoinvent v. 3.6	Unidade do Ecoinvent v. 3.6	Impacto para 1 unidade
Deslocamento do contêiner do bloco até o TT	RTG elétrico (Vahle)	Eletricidade	6	kWh	<i>market for electricity, high voltage / electricity, high voltage / Cutoff, U</i>	1 kg	3,62E-01
Deslocamento do TT pelo pátio até o berço	TT elétrico (Schaman)	Eletricidade	14,1	kWh	<i>market for electricity, high voltage / electricity, high voltage / Cutoff, U</i>	1 kg	3,62E-01
Deslocamento do contêiner do berço até o navio	STS	Eletricidade	4,87	kWh	<i>market for electricity, high voltage / electricity, high voltage / Cutoff, U</i>	1 kg	3,62E-01
Lavagem	Lavador	Água	0,06	L	<i>tap water production, conventional treatment / tap water / Cutoff, S</i>	1 kWh	2,00E-04

Conforme supracitado, a Tabela 1 compara o impacto ambiental de dois cenários: o atual e o sustentável. O cenário atual utiliza equipamentos movidos a diesel e eletricidade, enquanto o cenário sustentável utiliza apenas equipamentos elétricos. Para os equipamentos movidos a combustão, somaram-se as horas trabalhadas e o abastecimento (L) realizado diariamente para cada equipamento, permitindo determinar o consumo por hora de operação. Este cálculo foi realizado utilizando a Equação 1:

$$\text{Consumo por hora} = \frac{\text{Quantidade de diesel consumido}}{\text{Horas rodadas}} \quad (1)$$

A partir do consumo por hora, foi necessário identificar o consumo na movimentação de uma unidade. No caso do RTG, foi estimado o tempo de operação em 3 minutos (dado fornecido pela empresa), e com base nesse valor fizemos o comparativo do consumo por operação. No caso do TT, a unidade de medida utilizada foi ton/km. Para este cálculo, considerou-se a capacidade total de um contêiner (34 toneladas) e a distância entre o bloco A2, destinado ao armazenamento de contêineres, e o berço 218, local onde o navio atraca para receber as cargas, equivalente a 1,1575 km. O cálculo está demonstrado na Equação 2:

$$\text{Tonelada por km} = \text{capacidade da carga}/\text{distância} \quad (2)$$

A definição desse ponto foi uma escolha na modelagem para este cálculo de consumo, no estudo foi realizada uma análise de sensibilidade do transporte considerando a variação das distâncias. No caso do STS, o insumo principal é a energia elétrica, para esse equipamento foi coletada uma base de consumo diário de um equipamento ao longo do ano, e com isso foi feito o comparativo desse consumo por hora, como mostra a Equação 3:

$$\text{Consumo kWh} = \text{Consumo total diário}/24 \quad (3)$$

Para definir o consumo de kWh para a operação de um contêiner, também foi utilizado como parâmetro o tempo de 1 operação (dado repassado pela empresa), sendo 3 minutos. No cenário sustentável as especificações do RTG e TT foram alteradas para versões elétricas dos equipamentos, sendo os fabricantes, respectivamente, Vahle e Schaman, e houve mudança nos

insumos dos equipamentos, sendo alterado o consumo de L/h para kWh. Todas as informações de consumo foram retiradas do manual do equipamento disponível no site do fabricante e a relação dos dados se calculou seguindo o cálculo realizado anteriormente, convertendo consumo por hora em consumo por tempo da operação analisada.

A lavagem dos equipamentos, também analisada neste estudo, é realizada aproximadamente a cada 500 horas de operação, com frequência média de uma vez por mês. Esse procedimento integra a rotina de manutenção do terminal e contribui para a limpeza, conservação e segurança nas operações. Para analisar o consumo de água associado a esse processo, foram levantados dados de consumo médio mensal por tipo de equipamento e o número de contêineres movimentados pelo terminal. O consumo médio mensal de água para cada equipamento foi definido com base em informações da empresa como: 800 litros para RTG, 1200 litros para STS e 500 litros para TT. Considerando a movimentação de cerca de 500.000 contêineres por ano, foi estimado um volume médio mensal de 41.6 contêineres. A partir desses dados, calculou-se o consumo médio de água por contêiner movimentado, dividindo o consumo mensal de cada equipamento pelo número de contêineres movimentados no mês.

$$\text{Consumo de lavagem} = \frac{\text{Consumo de água}}{\text{Número de contêineres movimentados}} \quad (4)$$

O consumo médio de água por contêiner é de 0,0192 litros para RTG, 0,0288 litros para STS e 0,012 litros para TT, totalizando um consumo médio de 0,06 litros por contêiner movimentado.

Em relação às definições da Ecoinvent no inventário, foram definidos processos similares aos analisados no trabalho, visto que não há mapeamento desses processos e equipamentos portuários na base e tampouco dados regionalizados para o contexto brasileiro. No cenário atual, para o RTG, foi utilizado o processo "*diesel, burned in building machine*", que representa a queima de diesel em equipamentos industriais e inclui emissões diretas e indiretas do ciclo de vida do combustível. Já para o TT foi modelado o processo "*transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3*", que reflete o transporte de carga por caminhões de médio porte. O último equipamento, STS, foi modelado com o processo "*market for electricity, high voltage*", que representa o consumo de eletricidade de alta tensão. Por fim, o processo de lavagem considerou o modelo "*tap water production, conventional treatment*", representando a produção e distribuição de água tratada. Para o cenário sustentável foi replicado o processo de

lavagem e para os equipamentos elétricos seguiu o padrão "*market for electricity, high voltage*".

Para a análise foi utilizado o software OpenLCA 1.11 e a base de dados Ecoinvent 3.6, conhecida por fornecer inventários detalhados e atualizados de processos industriais e ambientais. A análise dos impactos ambientais foi realizada com base na categoria IPCC 2021 GWP 100 yr, que calcula o Potencial de Aquecimento Global (do inglês, *Global Warming Potential - GWP*) em um horizonte de 100 anos, considerando gases como CO₂, CH₄ e N₂O. Este estudo está empregando a metodologia para inventários de gases do efeito estufa do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006); sendo considerado neste estudo apenas o CO₂. A interpretação dos dados levará em conta os pontos críticos do processo e incluirá a análise e comparação dos resultados, identificação de propostas de melhorias e estratégias sustentáveis, além da elaboração do relatório final de conclusão.

3.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade do transporte dentro do porto foi realizada para avaliar o impacto das emissões de CO₂ em diferentes cenários de movimentação de uma unidade. A sensibilidade do transporte foi analisada considerando a posição dos berços e as distâncias percorridas pelos contêineres. Foram definidos diferentes cenários de deslocamento com base nas extremidades dos blocos principais, utilizando a planta fornecida pela empresa para consulta, conforme ilustrado no Apêndice A (Figura 7). A Tabela 2 apresenta as rotas dos blocos estudados até o berço de número 218.

Tabela 2 - Distância dos blocos até o berço 218.

Bloco até o berço	Distância	km
A2 > 218	(Dis.01)	1,1575
A9 > 218	(Dis.02)	1,3751
B2 > 218	(Dis.03)	0,9008
B9 > 218	(Dis.04)	1,1183
B15 > 218	(Dis.05)	1,4597
C2 > 218	(Dis.06)	0,5941
C9 > 218	(Dis.07)	0,8116
C14 > 218	(Dis.08)	1,153

A análise de sensibilidade foi realizada para avaliar como variações nas distâncias e nas cargas transportadas impactam nas emissões de CO₂. Foram considerados diferentes pontos de partida (blocos) e distâncias até o berço 218, bem como diferentes cargas: 100% da capacidade (34.030 kg), 50% da capacidade (18.790 kg) e 25% da capacidade (11.170 kg).

3.4. GRUPO FOCAL

A aplicação do grupo focal se caracteriza como uma ferramenta que amplia o acesso a informações sobre um fenômeno, permitindo a geração de novas perspectivas ou a análise aprofundada e discussão de uma ideia (Backes et al., 2011). Segundo Dias (2020), pode facilitar a discussão de temas que geralmente são pouco explorados, pois tendem a gerar comentários mais críticos. Para a seleção será utilizada a amostra por conveniência, técnica utilizada para obter uma compreensão inicial sobre um fenômeno estudado ou limitações (Oppong, 2013). Foram definidos participantes específicos que possuem contato com a operação de forma direta ou indireta, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Participantes do grupo focal.

ód.	Role	Sector	Tempo de empresa	Tempo no setor
1	Gerente	Saúde, Segurança e Meio Ambiente	10 anos e 7 meses	2 anos e 5 meses
2	Coordenador	Saúde, Segurança e Meio Ambiente	5 meses	5 meses
3	Analista	Saúde, Segurança e Meio Ambiente	10 anos e 8 meses	9 anos e 4 meses
4	Gerente	Manutenção	6 anos	6 anos
5	Gerente	Sistema Integrado de Gestão	12 anos e 6 meses	3 anos e 4 meses
6	Coordenador	Sistema Integrado de Gestão	5 anos e 2 meses	2 anos e 5 meses
7	Coordenador	Operações	6 anos e 5 meses	4 anos e 9 meses

Entre os participantes, três estão com contato direto com as questões ambientais da organização; um é especialista em equipamentos, manutenções e consumo; um é responsável pela eficiência operacional; e dois são representantes do Sistema de Gestão Integrado, que supervisionam as normas ISO 14001 e 50001, lidando diretamente com aspectos ambientais e

de eficiência energética. O grupo focal foi gravado e transcrito para otimizar a coleta de dados e garantir um aproveitamento completo das discussões. A sessão teve duração de aproximadamente 1h30min e teve como foco principal a apresentação do cenário atual e proposta sustentável, da sensibilidade no transporte e os cenários de transição para compreender o ponto de vista de cada *stakeholder* interno envolvido no processo e, assim, identificar potenciais estratégias para transição energética e sustentável.

A análise de conteúdo seguiu os estágios propostos por Elo e Kyngäs (2008), sendo codificação aberta, categorização e abstração. Buscou-se identificar informações relevantes por meio de um processo dedutivo, codificando as estratégias por meio dessas etapas. Os resultados foram divididos em duas categorias: estratégias competitivas e operacionais. Por fim, as relações entre as estratégias foram discutidas após a apresentação dos dados principais. Paralelamente, foi criada uma lista de estratégias para transição energética e sustentável referente à movimentação de contêineres.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados são estruturados em cinco tópicos principais: (i) Cenário atual e sustentável, (ii) Análise de sensibilidade do transporte, (iii) Cenários de transição e impactos, (iv) Estratégias de implementação sustentável e (v) Implicações práticas, teóricas e políticas.

4.1. Cenário atual e proposta sustentável

Atualmente, as operações portuárias têm um impacto significativo nas emissões de CO₂ devido ao uso predominante de equipamentos movidos a diesel. No cenário atual do estudo de caso, a movimentação de contêineres envolve, além do consumo de diesel, insumos como eletricidade e água, resultando em emissões relevantes. Visando ampliar a discussão sobre a redução de impactos ambientais, propôs-se um cenário sustentável com substituição dos equipamentos movidos a diesel por versões elétricas, o que reduziria as emissões de CO₂ e melhoraria a eficiência energética. A Figura 3 a seguir demonstra o comparativo desta transição, destacando as diferenças nas emissões entre os cenários atual e sustentável.

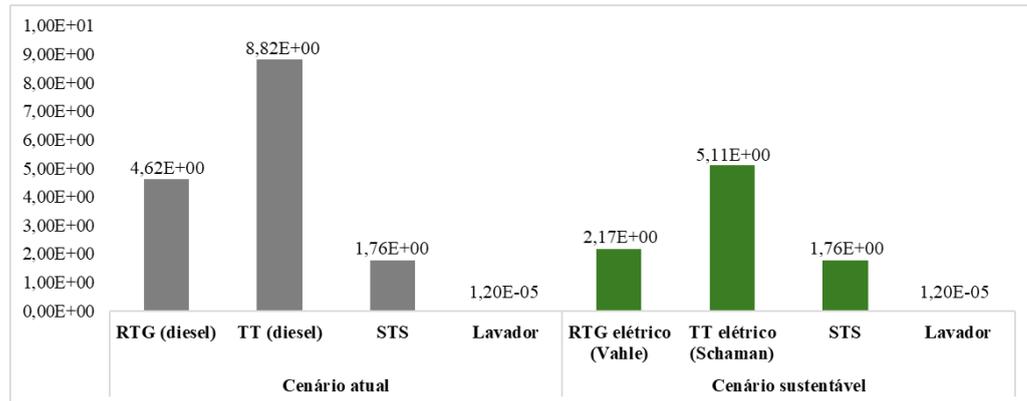


Figura 3 – Cenário atual e sustentável das emissões de CO₂eq. do estudo de caso.

A análise foi realizada com base nos dados de emissão da movimentação de um contêiner. Observa-se que, nos cenários envolvendo o STS e o Lavador, o índice de emissão é relativamente baixo em comparação com outros equipamentos. Isso se deve ao fato de que esses processos não sofreram modificações entre os cenários atual e sustentável, mantendo suas emissões constantes. A análise realizada neste estudo demonstra que a substituição de equipamentos movidos a combustão por elétricos resulta em uma redução significativa das emissões. No cenário sustentável, as emissões do RTG e do TT foram reduzidas em 47% e 58%, respectivamente. Esses resultados corroboram com a literatura existente, que aponta a eletrificação dos equipamentos como uma medida eficaz para a mitigação das emissões de CO₂ (Gao, 2024).

Segundo Mahmud (2024), a sustentabilidade portuária envolve a integração entre operações, cidades e meio ambiente, promovendo a eficiência e a responsabilidade socioambiental. Assim como salientado por Broadbent (2024), a transição para uma frota com energia limpa, como a substituição de equipamentos movidos a diesel por elétricos, é uma das principais estratégias para reduzir as emissões de CO₂, além de contribuir para a diminuição da poluição local e melhorar a qualidade do ar nas áreas portuárias. Essa mudança atende aos requisitos regulamentares (Rodrigues, 2024) e posiciona os portos como líderes globais em inovação e sustentabilidade. A redução das emissões nos equipamentos elétricos pode ser, segundo Zaino (2024), atribuída à maior eficiência energética e à menor dependência de combustíveis fósseis. A transição para um cenário sustentável reduz as emissões de CO₂ e promove práticas operacionais mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

4.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NO TRANSPORTE

A análise de sensibilidade no transporte dentro do porto, considerando o cenário atual da ACV, revelou que tanto a distância percorrida quanto o peso da carga são fatores que influenciam as emissões de CO₂. Os cenários com maiores distâncias e cargas mais pesadas resultaram em maiores emissões de CO₂, como mostra a Figura 4.

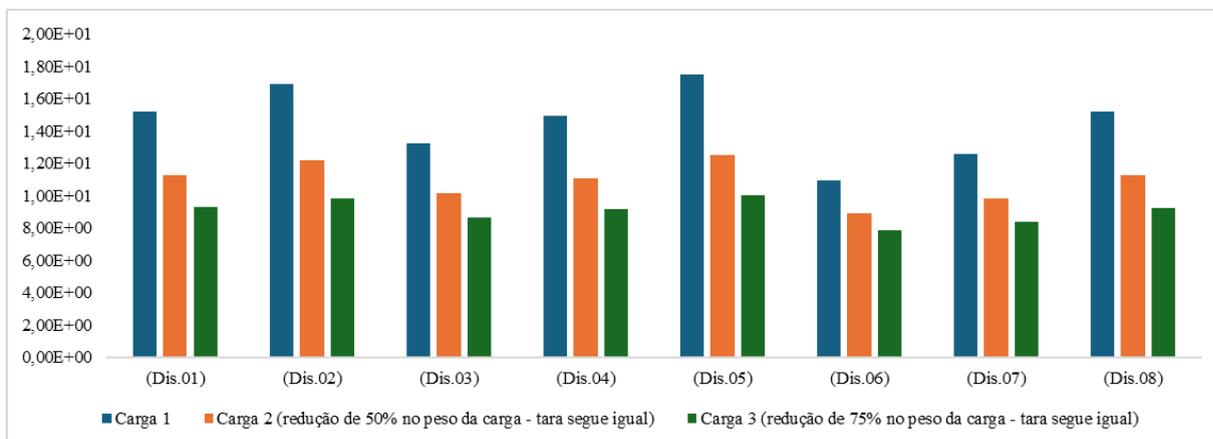


Figura 4 – Análise de sensibilidade de transporte.

Os resultados indicam que a distância percorrida e o peso da carga são determinantes nas emissões de CO₂. Cenários com maiores distâncias e cargas mais pesadas resultaram em maiores emissões (Apêndice B – Figura 8). Por exemplo, o cenário 5, com a maior distância de 1,4597 km, apresentou as maiores emissões para todas as cargas analisadas. Em contraste, o cenário 6, com a menor distância de 0,5941 km, resultou nas menores emissões.

A redução do peso da carga também teve um impacto significativo nas emissões. A Carga 1 (34.030 kg) apresentou as maiores emissões em todos os cenários, enquanto a Carga 3 (11.170 kg) resultou nas menores emissões. Isso indica que a gestão eficiente da carga, incluindo a otimização do peso, pode ser uma estratégia eficaz para reduzir as emissões de CO₂. Dessa forma, a empresa pode posicionar de forma estratégica cargas mais pesadas em blocos mais próximos aos berços, enquanto as mais leves podem ser manejadas em pontos mais distantes.

Esses resultados corroboram com a literatura existente, que aponta a distância percorrida e o peso da carga como fatores críticos nas emissões de CO₂ em operações portuárias (Budiyanto, 2021). A eficiência do transporte é diretamente afetada por esses fatores, e a otimização das rotas pode resultar em reduções significativas nas emissões (Jiang, 2024).

Nota-se que, a análise de sensibilidade no transporte dentro do porto destaca a importância de considerar tanto a distância percorrida quanto o peso da carga para minimizar

as emissões de CO₂. A transição para equipamentos elétricos e a otimização das rotas e cargas são estratégias essenciais para promover operações portuárias mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

4.3. CENÁRIOS DE TRANSIÇÃO E IMPACTOS

Na análise dos cenários a longo prazo, os resultados apresentados abrangem o período de 2025 a 2050, considerando dois cenários principais: sem crescimento e com crescimento da empresa (aumento de 11% ao ano no número de contêineres despachados), cada um subdividido em abordagens conservadoras (cenário atual) e de transição sustentável (cenário sustentável). A Figura 5 apresenta a variação dessas emissões em cada cenário.

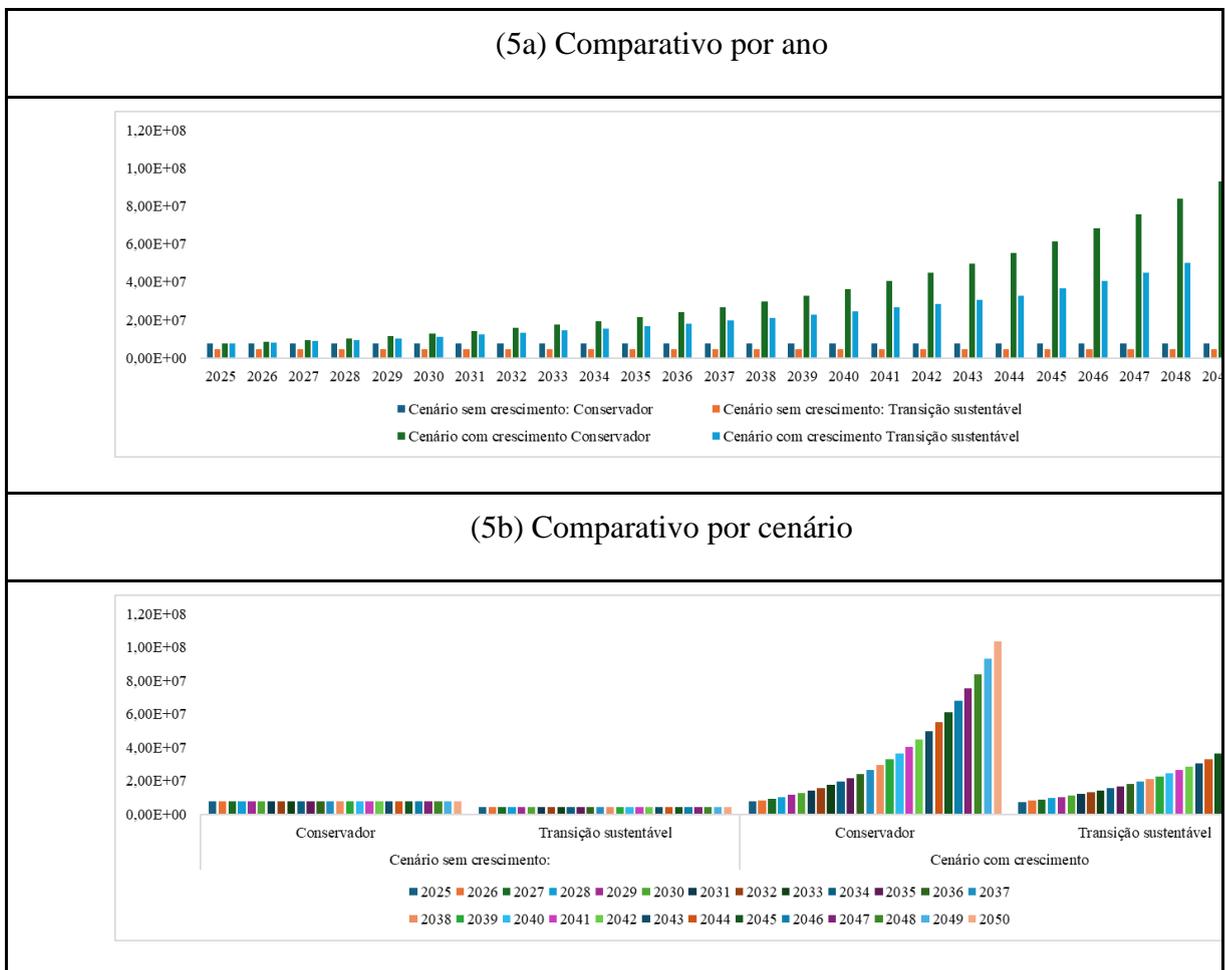


Figura 5 - Cenários de transição não das emissões de CO₂ anuais.

No cenário sem crescimento, o número de contêineres permanece constante em 500.000 por ano. As emissões não acumuladas geradas neste cenário são calculadas com base no impacto atual de 15,2 kg CO₂ eq. por contêiner e no impacto reduzido de 9,04 por contêiner na transição sustentável. Observa-se que, mantendo o número de contêineres constante, as emissões no

cenário conservador permanecem em $7,61E+06$ kg CO₂ eq. ao longo dos anos, enquanto no cenário de transição sustentável, as emissões são reduzidas para $4,52E+06$ kg CO₂ eq., totalizando uma diminuição de 59,46%.

No cenário com crescimento, o número de contêineres aumenta em 11% ao ano, refletindo um crescimento médio baseado nos dados de 2020 a 2024 (fornecidos pela Empresa do estudo de caso - memorial de cálculo no Apêndice C – Tabela 4). As emissões geradas neste cenário são calculadas tanto para a abordagem conservadora quanto para a transição sustentável. No cenário conservador, as emissões têm a tendência de aumentar significativamente ao longo dos anos, começando em $7,61E+06$ em 2025 e atingindo $1,03E+08$ em 2050. Já no cenário de transição sustentável, as emissões também aumentam, mas em um ritmo mais controlado, passando de $7,45E+06$ em 2025 para $6,14E+07$ em 2050. Comparando os dois cenários em 2050, observa-se que as emissões no cenário conservador são 60% maiores em relação ao cenário de transição sustentável, evidenciando o impacto significativo das estratégias adotadas para a redução do crescimento das emissões ao longo do tempo.

Dessa forma, os resultados indicam que a adoção de medidas sustentáveis pode mitigar o impacto ambiental da movimentação de contêineres, mesmo em um cenário de crescimento nulo. Enquanto no cenário sem crescimento a transição sustentável proporciona uma redução expressiva das emissões, no cenário com crescimento, a diferença entre as abordagens conservadora e sustentável se torna ainda mais evidente ao longo dos anos. A análise consolida a importância da implementação de tecnologias mais eficientes e estratégias operacionais que reduzam a intensidade de emissões por unidade movimentada. Além disso, evidencia que, sem intervenções sustentáveis, o aumento contínuo na demanda por transporte de contêineres pode levar a um crescimento exponencial das emissões, comprometendo metas ambientais e estratégias de descarbonização do setor. Portanto, a transição para práticas mais sustentáveis reduz significativamente as emissões acumuladas e também se apresenta como uma tomada de decisão essencial para conciliar o crescimento do setor com a mitigação dos impactos ambientais.

Em relação às emissões acumuladas, há uma visão mais abrangente do impacto ambiental ao longo do tempo, como visto na Figura 6.

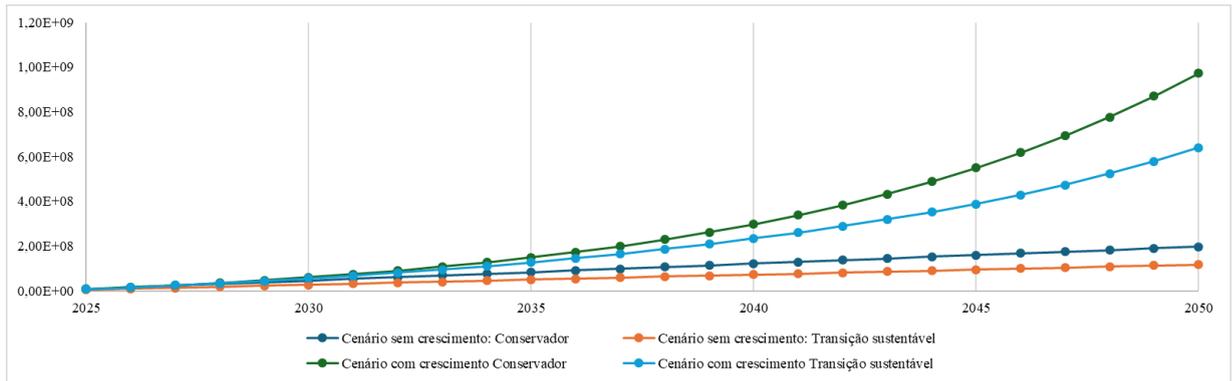


Figura 6 – Emissões de CO₂ eq. acumuladas ao longo dos anos (2025 até 2050).

No cenário sem crescimento, as emissões acumuladas no cenário conservador atingem 1,98E+08 kg CO₂ eq. (100%) até 2050, enquanto no cenário de transição sustentável, as emissões são reduzidas para 1,18E+08 kg CO₂ eq., representando uma diminuição de aproximadamente 40,4% em relação ao cenário conservador. No cenário com crescimento, as emissões acumuladas no cenário conservador alcançam 9,73E+08 kg CO₂ eq. (100%), enquanto no cenário de transição sustentável, elas caem para 6,41E+08 kg CO₂ eq., correspondendo a uma redução de cerca de 34,1% em comparação ao cenário conservador.

Esses resultados destacam a importância das práticas sustentáveis no setor de transporte de contêineres. No cenário sem crescimento, a transição sustentável oferece uma redução mais expressiva (40,4%) em comparação ao cenário com crescimento (34,1%), reforçando o impacto positivo das medidas sustentáveis tanto em situações de estabilidade quanto de aumento de atividades. Para atingir essa transição sustentável no setor portuário, González-Laxe et al. (2025) mencionam que demanda de uma implementação progressiva e contínua de sistemas de mapeamento do estado ambiental, as condições das emissões, a boa gestão dos recursos econômicos e do bom relacionamento entre os stakeholders na governança ambiental e econômica.

4.4. ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO SUSTENTÁVEL

A partir do grupo focal foram levantadas estratégias para mitigar os impactos da movimentação de contêineres, as quais foram:

- (E1) Eletrificação dos equipamentos – Eletrificar RTGs e empilhadeiras;
- (E2) Rotas eficientes – Melhorar as rotas das cargas e a eficiência do pátio para reduzir movimentos improdutivos e otimizar as operações;
- (E3) Monitoramento contínuo de movimentações e emissões – Implementar

tecnologias de rastreamento e monitoramento em tempo real para identificar e reduzir os impactos ambientais;

- (E4) Treinamentos e conscientização – Realizar campanhas de conscientização ambiental e treinamentos para os colaboradores, utilizando agentes ambientais;
- (E5) Colaboração com outros portos – Participar de grupos de descarbonização e eventos para compartilhar boas práticas e inovações sustentáveis.

Para atingir a E1, o R1 menciona que *“O principal projeto que a empresa tem é a eletrificação dos RTGs, que é o maior grupo responsável pelas maiores emissões do terminal”*, na sequência, o R3 corroborou que *“A eletrificação da empilhadeira também, né? Mesmo não sendo um equipamento mapeado, é um caminho que a gente pretende seguir”*. Woo et al. (2018) e Bakar et al. (2023) relatam que ao implementarem eletrificação em equipamentos portuários, os governos estão reduzindo impostos em diversos países pelo mundo. Já no que tange a E2, o R5 ressalta que *“o terminal já trabalha com isso (definição de melhores rotas de cargas), porque quanto mais o pátio for eficiente, mais eu produzo e menos recurso eu gasto, então existe um time responsável para isso”*, em seguida, o R5 complementou que já existem estratégias como *“a redução da ocupação de pátio através de novas políticas com os armadores, de redução de dwell time, que a curto prazo vai ter bastante efeito”*. Como sugestão para otimizar ainda mais a qualidade da movimentação de contêineres, sugere-se utilizar o modelo de rotas e alocação de contêineres de Meng et al. (2023).

Acerca da estratégia E3, o R7 cita o interesse da empresa em *“implementar tecnologias de rastreamento e planejamento em tempo real para melhorar o reposicionamento dos contêineres”*. Nesse, sugere-se empregar tecnologias como IoT e *digital twins* para monitorar em tempo real o posicionamento e movimentação dos contêineres conforme sugerido por Wu et al (2022). Ainda no que tange à E3, o R6 ressalta que *“o monitoramento contínuo permite identificar também a quantidade das emissões e oportunidades para reduzir os impactos ambientais”*. Nesse contexto, Fan et al. (2024) complementam ao destacar a aplicação da IoT como uma ferramenta eficaz para o monitoramento em tempo real das emissões de CO₂.

No que se refere à E4, o R3 destaca que *“há investimento em campanhas de conscientização ambiental e treinamentos para os colaboradores”*, evidenciando o compromisso da empresa com a educação e a sensibilização sobre práticas sustentáveis; o que é fomentado por diversos autores na literatura (por exemplo, Arocena et al., 2021; Heydari et al., 2021; Tan et al., 2022). Essa iniciativa está alinhada com a estratégia E5, na qual o R2

ênfatisa que “*é essencial a participação em grupos e eventos de descarbonização para compartilhar boas práticas e inovações sustentáveis*”. Dessa forma, ambas as estratégias se complementam ao promover a disseminação do conhecimento e *benchmarking*, fortalecendo o engajamento interno e externo na busca por soluções ambientais mais eficazes. De acordo com Kuakoski et al. (2023), não é possível realizar melhorias na gestão portuária (como a transição sustentável), sem pensar nos stakeholders envolvidos na cadeia de valor, os quais geralmente são: empresas, portos, indústrias marítimas, empresas de transportes, autoridades e governos.

4.5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS, TEÓRICAS, POLÍTICAS E PARA OS ODS

As implicações deste estudo abrangem aspectos práticos, teóricos e políticos, contribuindo significativamente para o avanço da sustentabilidade nas operações portuárias. No âmbito prático, os resultados fornecem uma base sólida para a implementação de práticas sustentáveis com foco na redução de emissões de CO₂, enfatizando a substituição de equipamentos movidos a diesel por elétricos. Essa transição, além de promover uma diminuição expressiva das emissões, melhora a eficiência energética e reduz os custos operacionais, alinhando-se às crescentes exigências do mercado global por práticas mais sustentáveis (Kim et al., 2012). O uso da ACV destacou-se como uma ferramenta essencial para identificar pontos críticos de emissão, possibilitando a priorização de intervenções operacionais e o planejamento de investimentos em tecnologias de baixo carbono. A aplicação desses resultados além de mitigar os impactos ambientais, também fortalece a imagem corporativa de empresas portuárias, que podem ser percebidas como líderes em inovação e responsabilidade socioambiental.

No campo teórico, o estudo amplia a literatura acadêmica ao explorar a aplicação da ACV em operações portuárias, um tema pouco explorado na literatura. Autores como Argyriou et al., (2022) e Gao (2024) apontam a relevância da ACV em contextos industriais, mas destacam a lacuna de estudos focados em operações logísticas e portuárias. Este trabalho contribui para preencher essa lacuna ao demonstrar como a ACV pode ser utilizada para avaliar os impactos ambientais de forma abrangente, desde a movimentação de contêineres até o uso de insumos como eletricidade e combustíveis fósseis. A integração de métodos quantitativos e qualitativos, como a análise de sensibilidade e o uso de grupos focais, adiciona profundidade ao estudo e estabelece uma lista de estratégias para os tomadores de decisão desenvolverem a transição sustentável em cadeias logísticas. Além disso, ao associar os resultados a conceitos de eficiência energética e gestão sustentável, o estudo fortalece a importância de abordagens

interdisciplinares, como defendido por Clemente et al. (2023) e Mahmud et al. (2024), criando uma base para futuras investigações acadêmicas.

Em termos políticos, os achados deste estudo oferecem contribuições valiosas para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade no setor portuário. A evidência empírica sobre a eficácia da eletrificação de equipamentos e da gestão de energia em operações logísticas pode orientar órgãos reguladores na formulação de padrões mais rigorosos de eficiência energética e metas de redução de emissões para portos. A adoção dessas práticas também enfatiza a necessidade de mecanismos governamentais de incentivo financeiro, como subsídios e linhas de crédito para empresas que invistam em tecnologias limpas e infraestrutura sustentável. Além disso, o estudo evidencia o potencial da incorporação de práticas ESG como um diferencial competitivo, atraindo investidores e fortalecendo a governança corporativa nas empresas do setor. Políticas que incentivem a entrada no mercado livre de energia para a aquisição de fontes renováveis, como energia solar e eólica, podem acelerar a transição para operações portuárias mais sustentáveis. Essa abordagem integradora, ao unir sustentabilidade e inovação tecnológica, posiciona os portos como agentes-chave na mitigação das mudanças climáticas, alinhando desenvolvimento econômico e responsabilidade ambiental.

Por fim, a transição sustentável nas operações portuárias tem implicações diretas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, 12 e 13. O ODS 7 (Energia Acessível e Limpa) é impulsionado pela eletrificação dos equipamentos, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, como destacado por Yang et al. (2024), que enfatiza a necessidade de ampliar o uso de fontes de energia limpa. O ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) é fortalecido pela otimização de recursos e redução de desperdícios, e, segundo Jiang (2024), melhorias nas rotas de movimentação garantem maior eficiência no uso de insumos e minimizam impactos ambientais. Já o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) é atendido por iniciativas de monitoramento contínuo e mitigação das emissões, conforme apontado por Xiao (2024), evidenciando o papel da tecnologia na redução do impacto climático das operações portuárias. Dessa forma, essas estratégias demonstram como a adoção de práticas sustentáveis pode contribuir de maneira integrada e eficaz para a promoção da sustentabilidade no setor.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo mensurar as emissões de gases do efeito estufa na movimentação de contêineres em um terminal portuário e propor estratégias para a transição

sustentável. A metodologia utilizada foi a ACV, que permitiu quantificar os impactos ambientais e identificar pontos críticos de emissão. Além disso, foi conduzido um grupo focal para a elaboração de estratégias operacionais sustentáveis, envolvendo os principais tomadores de decisão. Os resultados indicaram que a substituição de equipamentos movidos a diesel por versões elétricas pode reduzir substancialmente as emissões de CO₂, além de proporcionar maior eficiência energética e competitividade operacional. A análise de sensibilidade revelou que a distância percorrida e o peso da carga são fatores críticos para as emissões, destacando a necessidade de otimização logística como parte fundamental da transição sustentável.

Do ponto de vista teórico, o estudo contribui para expandir a literatura sobre sustentabilidade em operações portuárias, ao explorar a aplicação da ACV nesse contexto específico. Embora a ACV seja amplamente utilizada em outros setores industriais, sua aplicação no setor portuário ainda é limitada. O estudo preenche essa lacuna, demonstrando como a ACV pode ser integrada aos processos de tomada de decisão estratégica para promover a sustentabilidade nas operações portuárias e atender aos ODS 7, 12 e 13. Em termos práticos, os resultados fornecem propostas concretas para a adoção de estratégias de mitigação de impactos ambientais, como a eletrificação de equipamentos, rotas eficientes para cargas, monitoramento contínuo das emissões e capacitação de profissionais. Essas medidas são essenciais para a transição energética no setor.

Apesar das contribuições, o estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. A análise foi realizada com base em um único terminal portuário, o que pode restringir a generalização dos resultados para outros contextos. A qualidade e disponibilidade dos dados também podem ter influenciado a precisão das estimativas de emissões e impactos. Para aprimorar os resultados, futuras pesquisas podem ampliar o escopo da análise para múltiplos terminais e incluir aspectos econômicos da transição sustentável, como o *payback* ambiental. O uso de tecnologias emergentes, como IoT e *digital twins*, para o monitoramento em tempo real das emissões, também representa um campo promissor. Estudos voltados para políticas públicas e certificações ambientais podem acelerar a implementação de práticas sustentáveis, promovendo uma transição mais rápida e eficaz para a descarbonização das atividades portuárias.

APÊNDICE A

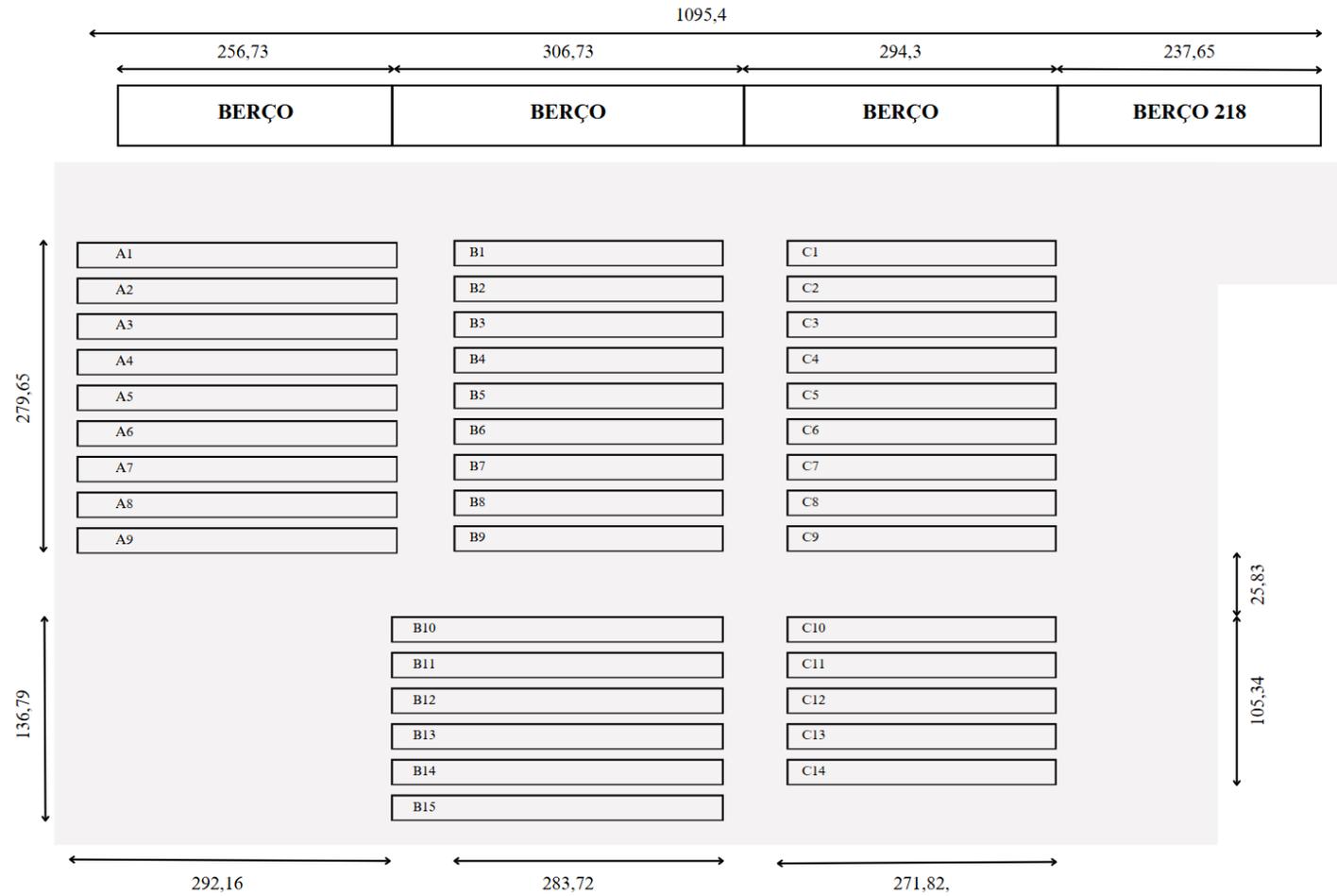


Figura 7 - Layout do local estudado.

APÊNDICE B



Figura 8 – Rotas de maior e menor impacto.

APÊNDICE C

Tabela 4 - Memorial de cálculo da taxa média de crescimento da empresa.

Ano	Movimentação em FEUs	Crescimento anual
2020	491.500	-
2021	550.000	12%
2022	580.000	5%
2023	600.000	3%
2024	750.000	25%
Média		11%

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014a). NBR ISO 14040: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 21 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014b). NBR ISO 14044: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 46 p.

Adelekan, O. A., Ilugbusi, B. S., Adisa, O., Obi, O. C., Awonuga, K. F., Asuzu, O. F., & Ndubuisi, N. L. (2024). Energy transition policies: a global review of shifts towards renewable sources. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(2), 272-287..

Alexandre, C., Gérard, A., Goedkoop, M., & Ponsioen, T. C. (2014). Indicateurs d’impact environnementaux en ACV: Etat de l’art, Retour d’expériences et recommandations (Doctoral dissertation, SCORE LCA).

Alhasnawi, B. N., Almutoki, S. M. M., Hussain, F. F. K., Harrison, A., Bazooyar, B., Zanker, M., & Bureš, V. (2024). A new methodology for reducing carbon emissions using multi-renewable energy systems and artificial intelligence. *Sustainable Cities and Society*, 114, 105721

Alhumoudi, H., Alakkas, A. A., Khan, S., Imam, A., Baig, A., Omer, A. M., & Khan, I. A. (2024). Carbon Management Accounting Considerations for Corporate Carbon Reduction: The Limitations and Future of Integrating Life Cycle Assessment and Material Flow Cost Accounting. *International Journal of Sustainable*

Development & Planning, 19(5).

Aparna, K., & Baskar, K. (2024). Scientometric analysis and panoramic review on life cycle assessment in the construction industry. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(4), 96.

Argyriou, I., Daras, T., & Tsoutsos, T. (2022). *Challenging a sustainable port. A case study of Souda port, Chania, Crete. Case Studies on Transport Policy*, 10(4), 2125-2137.

Arocena, P., Orcos, R., & Zouaghi, F. (2021). The impact of ISO 14001 on firm environmental and economic performance: The moderating role of size and environmental awareness. *Business Strategy and the Environment*, 30(2), 955-967.

Audi, M., Poulin, M., & Ali, A. (2024). Environmental impact of business freedom and renewable energy: a global perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(3), 672-683.

Azarkamand, S., Wooldridge, C., & Darbra, R. M. (2020). Review of initiatives and methodologies to reduce CO2 emissions and climate change effects in ports. *International journal of environmental research and public health*, 17(11), 3858.

Bakar, N. N. A., Bazmohammadi, N., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2023). Electrification of onshore power systems in maritime transportation towards decarbonization of ports: A review of the cold ironing technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113243.

Berges-Alvarez, I., Martínez-Rocamora, A., & Marrero, M. (2024). A Systematic Review of BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment for Buildings. *Sustainability*, 16(24), 11070.

Braga, R. C. M. S. (2020). *Gestão ambiental em portos brasileiros: Contributos para melhoria considerando boas práticas em portos Europeus* (Doctoral dissertation, Universidade do Porto (Portugal)).

Broadbent, Gail Helen et al. (2024). Transforming Australia's road fleet with electric vehicles: Strategies and impediments affecting net-zero emissions targets for 2050. *Case Studies on Transport Policy*, p. 101191.

Budiyanto, Muhammad Arif et al. (2021). Evaluation of CO2 emissions and energy use with different container terminal layouts. *Scientific reports*, v. 11, n. 1, p. 5476.

Buinwi, U., Buinwi, J. A., & Buinwi, E. (2024). Challenges and opportunities in international trade policy implementation: Insights from the Cameroonian Ministry of Trade. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(7), 2353-2374.

Cammin, P., Yu, J., Heilig, L., & Voß, S. (2020). Monitoring of air emissions in maritime ports. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102479.

Candeias, J. F. S. (2021). *Inovação nos portos—Uma análise qualitativa caso de estudo: Porto de Sines* (Master's thesis, ISCTE-Instituto Universitario de Lisboa (Portugal)).

Choudhary, V., Goyal, H., Varma, A. K., Shankar, R., Chakma, S., Malviya, P., & Thakur, L. S. (2024). Life Cycle Assessment (LCA) of the lead, chromium, and cadmium removal from water through electrocoagulation. *Materials Today: Proceedings*, 111, 8-14.

- Choudhury, R. R., Islam, A. F., & Sujauddin, M. (2024). More than just a business ploy? Greenwashing as a barrier to circular economy and sustainable development: A case study-based critical review. *Circular Economy and Sustainability*, 4(1), 233-266.
- Clemente, D., Cabral, T., Rosa-Santos, P., & Taveira-Pinto, F. (2023). Blue seaports: The smart, sustainable and electrified ports of the future. *Smart Cities*, 6(3), 1560-1588.
- Ducruet, C., Martin, B. P., Sene, M. A., Prete, M. L., Sun, L., Itoh, H., & Pigné, Y. (2024). Ports and their influence on local air pollution and public health: A global analysis. *Science of the Total Environment*, 915, 170099.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). *The Qualitative Content Analysis Process*. *Journal Of Advanced Nursing*, 62(1), 107-115.
- Espinoza-Pérez, L. A., Espinoza-Pérez, A. T., & Vásquez, Ó. C. (2024). Life Cycle Assessment Of Alternatives For Industrial Textile Recycling. *Science Of The Total Environment*, 927, 172161.
- Fan, K., Li, Q., Le, Z., Li, Q., & Li, J. (2024). Harnessing the power of AI and IoT for real-time CO2 emission monitoring. *Heliyon*, 10(17).
- Fanghu, L., Yinnan, H., & Biao, W. (2024). Analysis of logistics capacity, influencing factors and spatial spillover effect in Yangtze River Economic Belt. *Plos one*, 19(5), e0303200.
- Ferrario, F., Johnson, L. E., McKindsey, C. W., & Archambault, P. (2021). Ecosystem-Based Quality Index in a harbor bay: Assessing the status of a heterogeneous system in a functional framework at a local scale. *Ecological Indicators*, 132, 108260.
- Figueira, G. R. G. (2023). *Práticas De Sustentabilidade Das Empresas De Instalação E Movimentação De Cargas Do Porto De Setúbal* (Doctoral Dissertation).
- Gao, Ding; Zhi, Yuan; Yang, Xudong (2024). Assessing carbon emission reduction benefits of the electrification transition of agricultural machinery for sustainable development: A case study in China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 63, p. 103634.
- Gerrero-Molina, M. I., Vásquez-Suárez, Y. A., & Valdés-Mosquera, D. M. (2024). Smart, green, and sustainable: unveiling technological trajectories in maritime port operations. *IEEE Access*.
- González-Laxe, F., Seijo-Villamizar, J., & Martín-Bermúdez, F. (2025). Twenty years of sustainable development and port authorities: A critical review of the literature. *Marine Policy*, 172, 106491.
- Heydari, J., Govindan, K., & Basiri, Z. (2021). Balancing price and green quality in presence of consumer environmental awareness: A green supply chain coordination approach. *International Journal of Production Research*, 59(7), 1957-1975.
- Hoang, A. T., & Pham, V. V. (2020, May). *A study on a solution to reduce emissions by using hydrogen as an alternative fuel for a diesel engine integrated exhaust gas recirculation*. In AIP conference proceedings (Vol. 2235, No. 1). AIP Publishing.

- Hosamo, H., Coelho, G. B., Buvik, E., Drissi, S., & Kraniotis, D. (2024). Building sustainability through a novel exploration of dynamic LCA uncertainty: Overview and state of the art. *Building and Environment*, 111922.
- Hossain, T., Adams, M., & Walker, T. R. (2021). *Role of sustainability in global seaports*. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105435.
- ICS - International Chamber of Shipping (2024). *ICS Maritime Barometer Report 2023-2024*. Available at: <https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2024/09/ICS-Barometer-2023-2024-Full-report.pdf>
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for global environmental strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
- Ismail, A. M., Ballini, F., Ölçer, A. I., & Alamoush, A. S. (2024). Integrating ports into green shipping corridors: Drivers, challenges, and pathways to implementation. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117201.
- ISO (2006) ISO 14040: Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Geneva, Switzerland.
- ISO (2006) ISO 14044: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.
- Jiang, M., Ma, F., Zhang, Y., Lv, S., Pei, Z., & Wu, G. (2024). Collaborative Scheduling Optimization of Container Port Berths and Cranes under Low-Carbon Environment. *Sustainability*, 16(7), 2985.
- Jiang, Xing et al. (2024). Optimization of integrated scheduling of restricted channels, berths, and yards in bulk cargo ports considering carbon emissions. *Expert Systems with Applications*, v. 255, p. 124604.
- Kawachi, K., & Shibasaki, R. (2024). How do corridor development and border facilitation policies impact future container transport in inland South Asia?—A network simulation approach. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 40(1), 61-81.
- Khalifeh, M., & Caliskan, A. (2025). The role of port smartness in achieving sustainable development goals. *Maritime Policy & Management*, 52(1), 106-120.
- Kim, J., Rahimi, M., & Newell, J. (2012). Life-cycle emissions from port electrification: A case study of cargo handling tractors at the port of Los Angeles. *International journal of sustainable transportation*, 6(6), 321-337.
- Kuakoski, H. S., Lermen, F. H., Graciano, P., Lam, J. S. L., & Mazzuchetti, R. N. (2024). Marketing, entrepreneurship, and innovation in port management: trends, barriers, and research agenda. *Maritime Policy & Management*, 51(7), 1517-1534.
- Kumar, G., Vyas, S., Sharma, S. N., & Dehalwar, K. (2024). Challenges of Environmental Health in Waste Management for Peri-urban Areas. In *Solid Waste Management: Advances and Trends to Tackle the SDGs* (pp. 149-168). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Kumar, M., & Sharma, S. (2024). Renewable Energy and Sustainable Transportation. In *Role of Science and Technology for Sustainable Future: Volume 1: Sustainable Development: A Primary Goal* (pp. 375-414). Singapore: Springer Nature Singapore.

- Lamim, G. (2024). *Impactos da emissão de gases de efeito estufa (GEE) do Sistema modal na rota de cargas portuárias de Santa Catarina* (Doctoral Dissertation).
- Li, C., Zhu, Y., Zhu, J., Zhao, Y., & Chen, G. (2024). Life Cycle Assessment of Utilizing Bio-Oil to Reduce the Carbon Footprint on the Yangtze River Mainline: A Case Study of Container Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 226.
- Mahmud, K. K., Chowdhury, M. M. H., & Shaheen, M. M. A. (2024). Green port management practices for sustainable port operations: A multi method study of Asian ports. *Maritime Policy & Management*, 51(8), 1902-1937.
- Meng, L., Ge, H., Wang, X., Yan, W., & Han, C. (2023). Optimization of ship routing and allocation in a container transport network considering port congestion: A variational inequality model. *Ocean & Coastal Management*, 244, 106798.
- Michalska-Szajer, A., Klimek, H., & Dąbrowski, J. (2021). A comparative analysis of CSR disclosure of Polish and selected foreign seaports. *Case Studies on Transport Policy*, 9(3), 1112-1121.
- Mislih, M. (2024). *Strengthening Marine Logistics Regulations to Support Maritime Economic Development*. Collaborate Engineering Daily Book Series, 2(1 June), 48-54.
- Nikolakis, N., Catti, P., Chaloulos, A., van de Kamp, W., Coy, M. P., & Alexopoulos, K. (2024). A methodology to assess circular economy strategies for sustainable manufacturing using process eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 445, 141289.
- Olanrewaju, O. I., Enebuma, W. I., & Donn, M. (2024). Challenges in life cycle assessment implementation for construction environmental product declaration development: A mixed approach and global perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 49, 502-528.
- Oppong, S. H. (2013). The problem of sampling in qualitative research. *Asian journal of management sciences and education*, 2(2), 202-210.
- Pu, Y., Chen, W., Zhang, R., & Liu, H. (2020, October). Optimal operation strategy of port integrated energy system considering demand response. In 2020 IEEE 4th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2) (pp. 518-523). IEEE.
- Puig, M., Cirera, A., Wooldridge, C., Sakellariadou, F., & Darbra, R. M. (2024). Mega Ports' Mitigation Response and Adaptation to Climate Change. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1112.
- Qayyum, A., Jamil, R. A., & Sehar, A. (2023). Impact of green marketing, greenwashing and green confusion on green brand equity. *Spanish Journal of Marketing-ESIC*, 27(3), 286-305.
- Rodrigues Filho, L. A. (2023). *Caracterização Do Inland Do Porto De Leixões Em Transporte Intermodal* (Doctoral Dissertation).
- Rodrigues, A. A. (2024). "Fit for 55": The EU Plan for a Green Transition. In: *Sustainable Finances and the Law: Between Public and Private Solutions*. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 333-344.

- Sadiq, M., Ali, S. W., Terriche, Y., Mutarraf, M. U., Hassan, M. A., Hamid, K., ... & Guerrero, J. M. (2021). Future greener seaports: A review of new infrastructure, challenges, and energy efficiency measures. *IEEE Access*, 9, 75568-75587.
- Sahile, A., Agon, E. C., Geremew, A., & Gudina, O. (2024). Recycled concrete aggregate and cinder gravel as base course construction materials. *Advances in Civil and Architectural Engineering*, 15(28), 102-118.
- Samani, P. (2023). Synergies and gaps between circularity assessment and Life Cycle Assessment (LCA). *Science of The Total Environment*, 166611.
- Segun-Falade, O. D., Osundare, O. S., Kedi, W. E., Okeleke, P. A., Ijomah, T. I., & Abdul-Azeez, O. Y. (2024). Developing innovative software solutions for effective energy management systems in industry. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(8), 2649-2669.
- Teixeira, F. D. S. (2023). *Análise das metodologias de estimativa da pegada de carbono em meios de hospedagem: vantagens, desafios e limitações* (Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- Trozzi, C., & Vaccaro, R. (2024). Air pollutant emissions from ships: high Tyrrhenian Sea ports case study. *WIT Transactions on The Built Environment*, 39.
- Tsai, J. H., Yeh, P. C., Huang, J. J., & Chiang, H. L. (2024). Characteristics of Air Toxics from Multiple Sources in the Kaohsiung Coastal Industrial Complex and Port Area. *Atmosphere*, 15(12).
- UNCTAD (2022). *Review of Maritime Transport: UNCTAD RMT 2022*.
- Val, S., & Lambán, M. P. (2025). Enhancing Sustainability with LCA: A Comparative Analysis of Design and Manufacturing Processes. *Processes*, 13(1), 195.
- Venkatesh, V., Brown, S. A., & Bala, H. (2013). Bridging the qualitative-quantitative divide: Guidelines for conducting mixed methods research in information systems. *MIS Quarterly*, 21-54.
- Vieira, I. L., da Silva, E. R., Junior, L. C. D. M., & de Oliveira Mattos, U. A. (2020). Pontos positivos e negativos dos relatórios de sustentabilidade no modelo global reporting initiative: revisão da literatura nacional e internacional. *Revista Gestão Industrial*, 16(2).
- von Flüe, L., Efferson, C., & Vogt, S. (2024). Green preferences sustain greenwashing: challenges in the cultural transition to a sustainable future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 379(1893), 20220268.
- Vujičić, A., Zrnić, N., & Jerman, B. (2013). Ports sustainability: A life cycle assessment of zero emission cargo handling equipment. *Strojnicki Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 59(9), 547-555.
- Wang, Y., Wright, L., Boccolini, V., & Ridley, J. (2024). Modelling environmental life cycle performance of alternative marine power configurations with an integrated experimental assessment approach: A case study of an inland passenger barge. *Science of The Total Environment*, 173661.
- Warrier, G. A., Palaniappan, S., & Habert, G. (2024). Classification of sources of uncertainties in building LCA. *Energy and Buildings*, 113892.

- Weerasinghe, B. A., Perera, H. N., & Bai, X. (2024). Optimizing container terminal operations: a systematic review of operations research applications. *Maritime Economics & Logistics*, 26(2), 307-341.
- Weerasinghe, B. A., Perera, H. N., & Bai, X. (2024). Optimizing container terminal operations: a systematic review of operations research applications. *Maritime Economics & Logistics*, 26(2), 307-341.
- Woo, J. K., Moon, D. S., & Lam, J. S. L. (2018). The impact of environmental policy on ports and the associated economic opportunities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 110, 234-242.
- Wu, W., Zhao, Z., Shen, L., Kong, X. T., Guo, D., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2022). Just Trolley: Implementation of industrial IoT and digital twin-enabled spatial-temporal traceability and visibility for finished goods logistics. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101571.
- Xiao, G., Wang, Y., Wu, R., Li, J., & Cai, Z. (2024). Sustainable maritime transport: A review of intelligent shipping technology and green port construction applications. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(10), 1728.
- Yang, G., Zhang, G., Cao, D., Zha, D., Gao, X., & Su, B. (2024). China's provincial-level sustainable energy transition requires accelerating renewable energy technological innovation. *Energy*, 288, 129672.
- Yin, J., Huo, Q., He, J., Peng, X., & Wei, T. (2024). Energy management and capacity allocation method of hybrid energy storage system based on port transportation-energy coupling characteristics. *Journal of Energy Storage*, 83, 110745.
- Zaino, Rami et al. (2024). Electric vehicle adoption: A comprehensive systematic review of technological, environmental, organizational and policy impacts. *World Electric Vehicle Journal*, v. 15, n. 8, p. 375.
- Zhang, L., Zeng, Q., & Wang, L. (2024). How to Achieve Comprehensive Carbon Emission Reduction in Ports? A Systematic Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(5), 715.
- Zhou, Y., & Gu, B. (2024). The impacts of human activities on earth critical zone. *Earth Critical Zone*, 100004.
- Zincir, B. A., & Arslanoglu, Y. (2024). Comparative life cycle assessment of alternative marine fuels. *Fuel*, 358, 129995.

Análise de Gestão de Estoques Baseada em Curva ABC e Níveis de Estoque em uma loja de produtos de beleza

Filipe dos Santos Gonçalves (filipe.nets@gmail.com)

Camila Matos (camila.matos@unespar.edu.br)

Resumo: A gestão de estoques tem como objetivo reduzir custos enquanto mantém o nível de serviço adequado, sem prejudicar a imagem da empresa. No entanto, essa tarefa se torna mais desafiadora em razão da perecibilidade de alguns produtos, já que as perdas relacionadas ao prazo de validade precisam ser avaliadas em comparação ao valor de vendas e não em relação ao não-atendimento ao cliente, visto que a possibilidade de manter estoques de segurança é limitada. Este estudo teve como objetivo analisar a gestão de estoques de produtos com base na classificação ABC e propor estratégias para melhorar a eficiência do gerenciamento de estoques uma empresa do setor de beleza. Os resultados indicam que, dentre os 378 produtos avaliados, 87 foram classificados na classe A, representando a maior contribuição para o faturamento da empresa, enquanto 91 produtos ficaram na classe B e 200 na classe C. a análise do giro e da cobertura de estoque revelou que alguns produtos, como a Lâmina Wilkinson e a Cola One, apresentavam alto giro e baixa cobertura, indicando um risco iminente de ruptura. Também foi possível destacar produtos essenciais, como a Cola Ace, que se mostrou um dos principais itens que contribuem para o faturamento da empresa. Esses achados reforçam a importância do uso de ferramentas específicas para a tomada de decisões na gestão de estoques e compras.

Palavras-chave: Gestão de Estoques; Classificação ABC; Setor de Beleza.

Inventory Management Analysis Based on ABC Curve and Stock Levels in a Beauty Products Store

Abstract: Inventory management aims to reduce costs while maintaining an adequate service level without harming the company's image. However, this task becomes more challenging due to the perishability of some products, as losses related to expiration dates must be assessed in comparison to sales value rather than unmet customer demand, given the limited possibility of maintaining safety stock. This study aimed to analyze inventory management based on ABC classification and propose strategies to improve stock management efficiency in a beauty sector company. The results indicate that, among the 378 products evaluated, 87 were classified as

class A, representing the highest contribution to the company's revenue, while 91 products were in class B and 200 in class C. The analysis of inventory turnover and coverage revealed that some products, such as Lâmina Wilkinson and Cola One, had high turnover and low coverage, indicating an imminent risk of stockout. Additionally, essential products like Cola Ace were identified as key contributors to the company's revenue. These findings reinforce the importance of using specific tools for decision-making in inventory and purchasing management.

Keywords: Inventory Management; ABC Classification; Beauty Sector.

1. INTRODUÇÃO

A gestão da aquisição, tradicionalmente conhecida como a função de compras, tornou-se uma atividade estratégica nos negócios modernos, considerando o volume significativo de recursos envolvidos, especialmente financeiros (Souza, 2023). Com as transformações organizacionais ao longo dos anos, a gestão de compras passou a ser essencial na administração de recursos materiais, garantindo a aquisição de insumos na quantidade e qualidade adequadas, acompanhando os pedidos até a entrega e otimizando custos por meio de uma rede de distribuição eficiente (Moreira; Santos, 2017).

Todas as empresas, independentemente do setor, precisam alinhar sua capacidade produtiva à demanda para evitar desperdícios e garantir a disponibilidade de produtos aos clientes. Nesse sentido, a redução de estoques e o cumprimento de prazos de entrega se tornam fatores críticos para a satisfação dos consumidores (Novaes, 2021). Empresas que mantêm estoques enxutos e preços competitivos conseguem se sustentar no mercado, reforçando a importância de uma gestão de compras qualificada (Martelli; Dandaro, 2015).

A gestão de estoques engloba controle, planejamento e otimização do armazenamento e distribuição de produtos, visando atender à demanda com eficiência e evitar custos excessivos (Ajala; Giordani, 2018). Contudo, um desafio recorrente na gestão de estoques é a perda de produtos devido ao vencimento de seus prazos de validade. Para mitigar esse problema, a Lei 3997/2014 exige que supermercados e estabelecimentos similares mantenham gôndolas exclusivas para produtos com prazos próximos do vencimento, o que demanda um controle mais rigoroso de estoques (Higuchi, 2006).

A perecibilidade dos produtos exige previsões de demanda precisas e um planejamento rigoroso na gestão de estoques. Além disso, decisões bem fundamentadas minimizam perdas

financeiras e otimizam o uso do capital investido. No setor de produtos de beleza, por exemplo, a validade dos cosméticos deve ser rigidamente controlada, pois, mesmo sem penetração profunda na pele, produtos vencidos podem sofrer alterações e apresentar riscos de contaminação (IDC, 2008).

Estudos apontam que melhorias no planejamento e controle de estoques podem gerar reduções significativas nos custos operacionais. Em um estudo aplicado a um salão de beleza, a implementação de um controle mais eficiente levou à redução de 30% a 40% no tempo de acesso a produtos e à diminuição do volume de itens sem giro no estoque (DIAS, 2009). Miyakawa et al. (2023) obteve uma redução de volume de estoque em excesso em 14%, uma mudança na estratégia de produção dos 583 itens e aumento do nível de atendimento ao cliente para 95% em seu estudo de implementação da política de estoque em uma indústria do setor cosmético. Mohn (2023) obteve 52% de redução de corte de estoques em seu estudo ao analisar o processo de logística interna de um centro de distribuição de uma indústria, a fim de reduzir o corte de material do pedido do cliente e, por conseguinte, melhorar o nível de serviço. Esses resultados demonstram que boas práticas de gestão de estoques impactam positivamente o processo de compras, contribuindo para a continuidade e competitividade empresarial.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a gestão de estoques de produtos com base na classificação ABC e propor estratégias para melhorar a eficiência do gerenciamento de estoques. Inserido na área de Engenharia de Operações e Processos da Produção, uma das 10 áreas da ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, este estudo está estruturado em 6 seções, sendo: introdução; referencial teórico; metodologia; resultados e discussão; considerações finais; e referências.

2. GESTÃO DE ESTOQUES

A gestão de estoques envolve um conjunto de atividades voltadas para monitorar o estado do estoque, sua utilização, localização em relação a outros setores da empresa, além do controle e manuseio adequado dos itens. Administrar estoques significa gerenciar recursos, sejam eles ociosos ou em uso, considerando seus valores econômicos e sua destinação para suprir demandas futuras (Viana, 2002).

Conforme Moia et al. (2014), um gerenciamento eficaz exige que a empresa tenha amplo conhecimento sobre sua cadeia de suprimentos. Esse domínio permite maior controle sobre os estoques, gerando benefícios para a organização. Pires (2011, p. 29) aponta que a “Gestão da

Cadeia de Suprimentos se apresenta como um novo modelo competitivo e gerencial às empresas industriais.” A gestão bem estruturada dessa cadeia favorece a competitividade, pois promove uma conexão mais eficiente, econômica e ágil entre fornecedores, produtores e clientes (Moia et al., 2014, p. 61).

A relevância dos estoques é destacada por Pires (2011), que associam sua importância a fatores como: 1) a pressão competitiva sobre preços e lucros; 2) o avanço tecnológico no processamento de dados e acesso à informação; e 3) a possibilidade de utilizar métodos quantitativos modernos de análise. A competitividade é essencial, pois o equilíbrio entre preço e lucro pode atrair clientes e gerar retorno sobre o capital investido. A tecnologia, por sua vez, é uma ferramenta crucial para fornecer dados confiáveis e impulsionar o crescimento do negócio, além de traçar estratégias e alcançar metas. Dessa forma, a gestão de estoques é uma das áreas da logística que mais contribui para os custos logísticos de uma empresa. Para evitar desperdícios, é fundamental estimar corretamente a capacidade produtiva e alinhar estoques às demandas.

Tanto grandes organizações quanto pequenos negócios familiares devem compreender o valor estratégico e financeiro dos estoques. Essa necessidade estimulou o desenvolvimento de ferramentas e técnicas que auxiliam gestores na tomada de decisão, como a definição de níveis ideais de estoque, trabalho com lead time, ponto de pedido e lote econômico.

2.1. CURVA ABC

No âmbito administrativo, a utilização da curva ABC tornou-se uma ferramenta amplamente vantajosa em diversas áreas que demandam decisões rápidas envolvendo grandes volumes de dados. Pires (2011) relata que a análise ABC é uma das metodologias mais comuns para avaliar estoques. Essa análise consiste em observar, em um período determinado (geralmente 6 meses ou 1 ano), o consumo dos itens do estoque, seja em valor monetário ou em quantidade, classificando-os em ordem decrescente de importância. Os itens mais relevantes são denominados como classe A, os intermediários como classe B, e os de menor relevância como classe C.

A técnica, embora tradicional, é altamente eficaz e baseia-se no princípio do diagrama de Pareto, desenvolvido pelo economista italiano Vilfredo Pareto. A categorização proporcionada pela curva ABC permite determinar o nível de importância dos itens e

estabelecer diferentes níveis de controle baseados nessa relevância (Viana, 2002). Na Figura 1 é possível visualizar a Curva ABC.

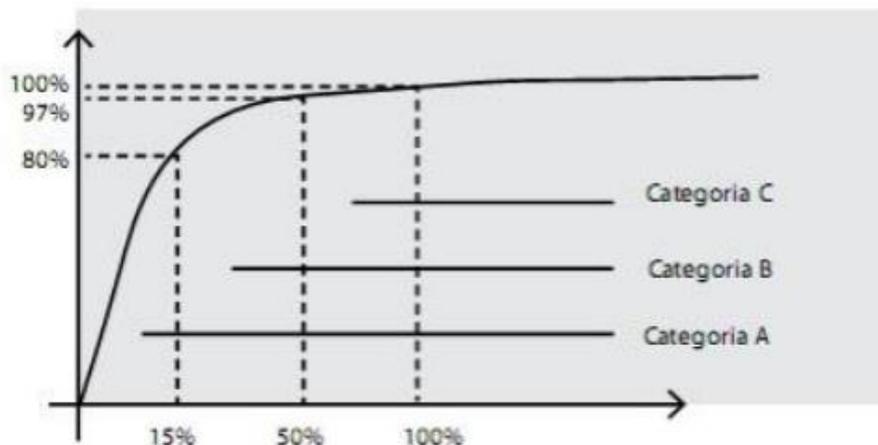


Figura 1 - Classificação ABC.

Fonte: Pires (2011).

A aplicação prática da análise ABC envolve classificar os itens de acordo com seu valor relativo, organizando-os em três grupos:

- **Classe A:** Inclui itens de maior valor ou alta relevância para a produção. Esses itens demandam maior investimento, atenção e gestão rigorosa.
- **Classe B:** Contém itens de valor intermediário, que requerem um controle moderado.
- **Classe C:** Compreende itens de menor valor agregado, necessitando apenas de um controle regular.

Segundo Pires (2011), os itens da classe A correspondem a aproximadamente 15% do volume total do estoque, mas representam 80% do investimento. Os itens da classe B abrangem cerca de 35% do volume do estoque e 17% do investimento, enquanto os da classe C representam 50% do volume total, porém apenas 3% do investimento.

2.2. CONTROLE DE ESTOQUES

O controle de estoques é uma atividade estratégica que visa equilibrar a disponibilidade de materiais com a redução de custos, garantindo a operação eficiente da empresa. Brito (2010) destaca que, em um cenário ideal com demanda previsível, estoques necessários, mas a imprevisibilidade da demanda e fatores externos. O controle eficiente reduz custos, evita estoques excessivos ou escassez de materiais, e promove decisões rápidas em situações imprevistas (Viana, 2002).

As principais funções do controle incluem: definição de itens a serem estocados, cálculo de quantidades mínimas, gestão de reabastecimentos, inventários regulares e eliminação de materiais obsoletos (Dias, 2009). Dois desafios cruciais são determinar "quanto comprar" e "quando comprar", alinhados à variação da demanda.

2.2.1 Estoque de Segurança

O estoque de segurança é uma reserva estratégica de produtos destinada a evitar rupturas no abastecimento devido a imprevistos, como atrasos de fornecedores ou picos inesperados de demanda, garantindo a segurança. Silva (2019) afirma que o estoque mínimo, também conhecido como estoque de segurança, consiste em uma quantidade extra de produtos para lidar com anormalidades no processo, destacando sua importância no controle de estoques.

Segundo Martin Christopher (2016), em *Logistics & Supply Chain Management*, os estoques de segurança são um custo inevitável para mitigar riscos, mas podem ser reduzidos com estratégias como previsões mais precisas e uma maior integração entre os elos da cadeia de suprimentos.

Uma maneira de calcular o estoque de segurança é por meio de uma fórmula (Equação 1) que considera a variabilidade da demanda e o tempo de reposição:

$$ES = Z \times \sigma_d \times \sqrt{LT} \quad (1)$$

Onde, ES é o estoque de segurança; Z o fator de segurança determinado pelo nível de serviço desejado; σ_d o desvio padrão da demanda; e, LT o tempo de reposição do item.

O aumento dos níveis de estoque de segurança melhora a disponibilidade do produto para vendas, mas também eleva os custos de armazenagem. Determinar os níveis ideais de estoque é um desafio essencial para as empresas, exigindo um equilíbrio entre disponibilidade e custos operacionais (Kella, Agrogiannis, 2016).

A partir do estoque de segurança é possível definir o estoque máximo que representa o nível máximo de produtos mantidos em estoque para evitar excessos ou faltas (BARROS, 2021). O estoque máximo S pode ser calculado pela soma da demanda média (D) multiplicado pelo tempo de reposição ou Lead Time (LT), adicionado do um estoque de segurança (ES) (Equação 2).

$$S = D * LT + ES \quad (2)$$

Esse estoque é considerado essencial para a gestão de estoques, pois proporciona o equilíbrio, a disponibilidade de produtos e a otimização dos custos operacionais.

2.2.2 Modelos de Controle de estoques

Os modelos de controle de estoques envolvem diferentes parâmetros e estratégias para a reposição eficiente de mercadorias. Segundo Bijvank et al. (2011), o processo de reposição é definido por elementos como período de revisão, quantidade do pedido, custos envolvidos e função objetivo. Entre os principais conceitos utilizados nesses modelos, destacam-se o *lead time* (tempo necessário para a chegada do estoque após o pedido), a posição de estoque (quantidade disponível mais o estoque em trânsito), e o período de revisão, que pode ser contínuo ou periódico.

Os modelos mais conhecidos são o modelo por revisões periódicas e ponto de pedido (PP). O modelo de revisão periódica monitora o nível do estoque em intervalos regulares e no momento da revisão, é ordenada uma quantidade suficiente para repor o estoque ao nível máximo. Já o modelo por ponto de pedido indica o momento ideal em que deve ser realizado um novo pedido de reposição (Barros, 2021). Neste estudo, será utilizado o modelo PP, conforme apresenta a Equação 3.

$$PP = (\text{Consumo Médio Diário} * \text{Tempo de Reposição}) + \text{Estoque de Segurança} \quad (3)$$

Em que o consumo médio diário corresponde a quantidade média de itens consumidos por dia; o tempo de reposição é o LT, ou seja, o tempo necessário para a reposição do estoque desde o pedido até a chegada.

Em um sistema de controle de estoques a política de reposição adotada se relaciona diretamente ao número de pedidos, que influencia aspectos como custos operacionais, disponibilidade de produtos e eficiência logística. O número total de pedidos (N) ao longo de um período pode ser estimado pela relação entre a demanda anual (D) e a quantidade de cada pedido (Q), conforme é apresentado na Equação 4.

$$Np = \frac{D}{Q} \quad (4)$$

A determinação do número de pedidos ajuda a empresa a definir quantas vezes um pedido será realizado ao longo do período analisado, auxiliando no planejamento logístico e financeiro da empresa.

2.2.3 Lote Econômico de Compra

O Lote Econômico de Compra (LEC), é um modelo utilizado para determinar a quantidade necessária de produtos que deve ser comprada, a fim de minimizar os custos do estoque. O objetivo é equilibrar dois fatores essenciais na gestão de estoques, sendo o custo de pedido, que está relacionado a despesas administrativas e operacionais no momento de realizar um novo pedido; e, o custo de armazenagem, que se refere aos gastos com estoque físico, segurança e falta e deterioração dos produtos (Ballou, 2006).

Ford W. Harris (1913) Harris desenvolveu a fórmula matemática para determinar a quantidade ideal de um item a ser pedido de forma que os custos totais de estoque sejam minimizados. (Equação 5). Sua abordagem baseia-se na ideia de que há um ponto de equilíbrio entre os custos de fazer pedidos e os custos de manter o estoque.

$$LEC = \sqrt{\frac{2DS}{C + (i \cdot P)}} \quad (5)$$

Em que D é a demanda anual do item; C é o custo de preparação para fazer o pedido do item; e o custo de armazenagem por unidade; i = Taxa de juros sobre o capital (ao ano); P Preço unitário do item;

2.2.4 Indicadores de Desempenho na Gestão de Estoques

Para avaliar a performance de um modelo de controle de estoques, é fundamental que a organização estabeleça indicadores adequados para monitoramento. De acordo com Lustosa et al. (2008), os indicadores mais utilizados estão relacionados ao fluxo de materiais, sendo eles: estoque médio; cobertura de estoque; giro de estoque; e, nível de serviço.

O estoque médio mede a quantidade mantida em estoque ao longo de um período determinado. A cobertura de estoque indica quanto tempo em média o estoque dura e pode ser

calculado a partir da Equação 6.

$$\text{Cobertura de estoque} = \frac{\text{Estoque Médio no período}}{\text{Demanda média no período}}$$

A cobertura de estoque indica por quanto tempo, em média, o estoque atual pode suprir a demanda antes de precisar ser reabastecido. Valores altos sugerem um estoque mais seguro e preparado para variações na demanda, mas podem significar custos financeiros mais altos, devido à necessidade de maior espaço de armazenamento e ao risco de obsolescência. Já valores baixos podem indicar que os produtos estão sendo consumidos rapidamente, exigindo reabastecimento frequente, entretanto, podem levar a riscos de falta de produtos e necessidade de compras emergenciais, que geralmente são mais custosas (Lustosa, 2008).

O giro de estoque representa o inverso da cobertura, ou seja, ele mede a rotatividade do fluxo dos estoques. Ele representa a quantidade de vezes que um determinado item foi renovado em relação ao consumo ou venda em um período analisado e pode ser calculado a partir da Equação 7.

$$\text{Giro de estoque} = \frac{\text{Demanda Média no período}}{\text{Estoque médio no período}}$$

Valores elevados indicam um estoque com alta rotatividade, podendo indicar um estoque insuficiente, aumentando o risco de rupturas e perda de vendas. Por outro lado, itens com giro baixo permanecem por mais tempo armazenados, o que pode levar a custos elevados de manutenção e obsolescência (Lustosa, 2008).

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia adotada para este trabalho consiste em uma abordagem quantitativa e descritiva, conforme definido por Yin (2015) como adequada para análises fundamentadas em dados numéricos e que buscam descrever e compreender características em profundidade. O desenvolvimento do trabalho foi estruturado nas seguintes etapas: i) Coleta de Dados; ii) Classificação ABC; iii) Análise dos Produtos da Classe A; iv) Proposição de Melhorias e; v) Validação das Propostas.

A coleta de dados consistiu no levantamento dos dados de estoque da empresa, incluindo informações sobre quantidade em estoque, consumo mensal, custo total e valor total dos produtos, alinhando-se ao método descrito por Bowersox e Closs (2020) em suas discussões sobre análise de estoques. Esses dados foram utilizados como base para a classificação e análise.

A classificação ABC foi realizada, sendo amplamente reconhecida como eficaz em análises de gestão de estoques, conforme destacado por autores como Slack et al. (2021), Tubino (2017).

Em seguida, os produtos da classe A foram analisados em profundidade para identificar:

- **Produtos Adequados:** Quando o estoque atual está entre o estoque de segurança e o estoque máximo ($\text{Estoque Segurança} \leq \text{Estoque Atual} \leq \text{Estoque Máximo}$);
- **Produtos Críticos:** Itens com estoque abaixo do mínimo necessário considerando o $\text{Estoque Atual} < \text{Estoque Mínimo}$, conforme metodologia descrita por Ballou (2006); e,
- **Produtos Excessivos:** Itens com estoque acima do máximo permitido ($\text{Estoque Atual} > \text{Estoque Máximo}$), seguindo parâmetros discutidos por Arnold et al. (2011).

Com base nas análises realizadas, foram sugeridas e implantadas estratégias para otimizar o controle de estoques, sendo elas: i) definição do estoque de segurança, estoque máximo e número de pedidos; elaboração do modelo de controle de estoques por ponto de pedido; e cálculo do lote econômico de compra.

Por fim, foi possível validar as propostas implementadas avaliando-as quanto às previsões práticas e ao impacto esperado na eficiência da gestão de estoques. Essa análise incluiu a comparação do cenário antes e depois da implementação, utilizando indicadores de desempenho, como a cobertura e o giro de estoques, conforme destacado por Christopher (2009).

3.1 ESCOPO DA PESQUISA

O escopo desta pesquisa está delimitado ao estudo de uma loja de porte pequeno a médio, que atende a autônomos, salões de beleza e consumidores finais, oferecendo produtos de alta qualidade e alinhados às tendências do mercado de beleza. A Oklahoma Produtos foi fundada em maio de 2023 com o objetivo principal de atender profissionais de beleza, oferecendo uma ampla variedade de produtos específicos para extensão de cílios, design de sobrancelhas e outros acessórios essenciais para a área estética. Localizada em Paranaguá-PR, a empresa opera exclusivamente no formato de entregas, atendendo clientes em todo o litoral.

Os produtos da empresa são adquiridos de diversos fornecedores, os prazos de entrega variam: alguns produtos levam cerca de 20 dias para serem entregues, enquanto outros chegam em apenas 2 dias. O gerenciamento do estoque é feito com base na quantidade disponível. Por exemplo, para itens com prazo de entrega mais longo (20 dias), os pedidos são realizados assim que o estoque atinge uma quantidade mínima pré-determinada. Já para produtos com pedido rápido (2 dias), o pedido é feito quando o estoque atinge uma quantidade mínima menor, dado

o menor tempo necessário para reabastecimento.

Como uma empresa trabalha com uma grande variedade de produtos, o controle de estoque é realizado por meio de um sistema ERP específico para gestão empresarial. No entanto, esse sistema não realiza os cálculos automaticamente; ele apenas organiza e monitora os dados que são previamente fornecidos pelos proprietários. Os proprietários, que antes faziam o controle de estoque manualmente, definiram o ponto de pedido, o estoque mínimo e o estoque de segurança com base em observações e estimativas, sem o uso de fórmulas ou métodos precisos.

A Oklahoma Produtos trabalha com 2 modalidades de vendas sendo varejo e atacado. Quando o cliente ultrapassa R\$300,00 em compras os produtos entram no modo atacado e abaixo desse valor modo varejo. O sistema é alimentado pelos proprietários, é cadastrado quantidade de estoque, produtos, valores de atacado e varejo e emissão de resumo para o cliente.

A pesquisa visa propor a melhoria de uma gestão de estoques baseada em classificações e cálculos mais robustos, com o objetivo de melhorar a eficiência e identificar o ponto ideal para a realização de pedidos de cada produto. Atualmente, mesmo com o uso do sistema ERP, os proprietários enfrentam dificuldades em manter um controle preciso sobre o estoque. A aplicação de ferramentas adequadas determinará com exatidão o momento ideal para os pedidos, otimizando a realização do processo de reposição e garantindo os riscos de excesso ou falta de produtos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir das etapas metodológicas descritas, com foco na análise dos dados de estoque da empresa, na classificação ABC, na avaliação detalhada dos produtos da classe A e na validação das propostas de melhoria. A análise inicial da curva ABC revelou a distribuição dos produtos em termos de importância financeira, permitindo identificar os itens da classe A, responsáveis por uma parcela significativa do valor total do estoque, conforme apresenta a Figura 2.

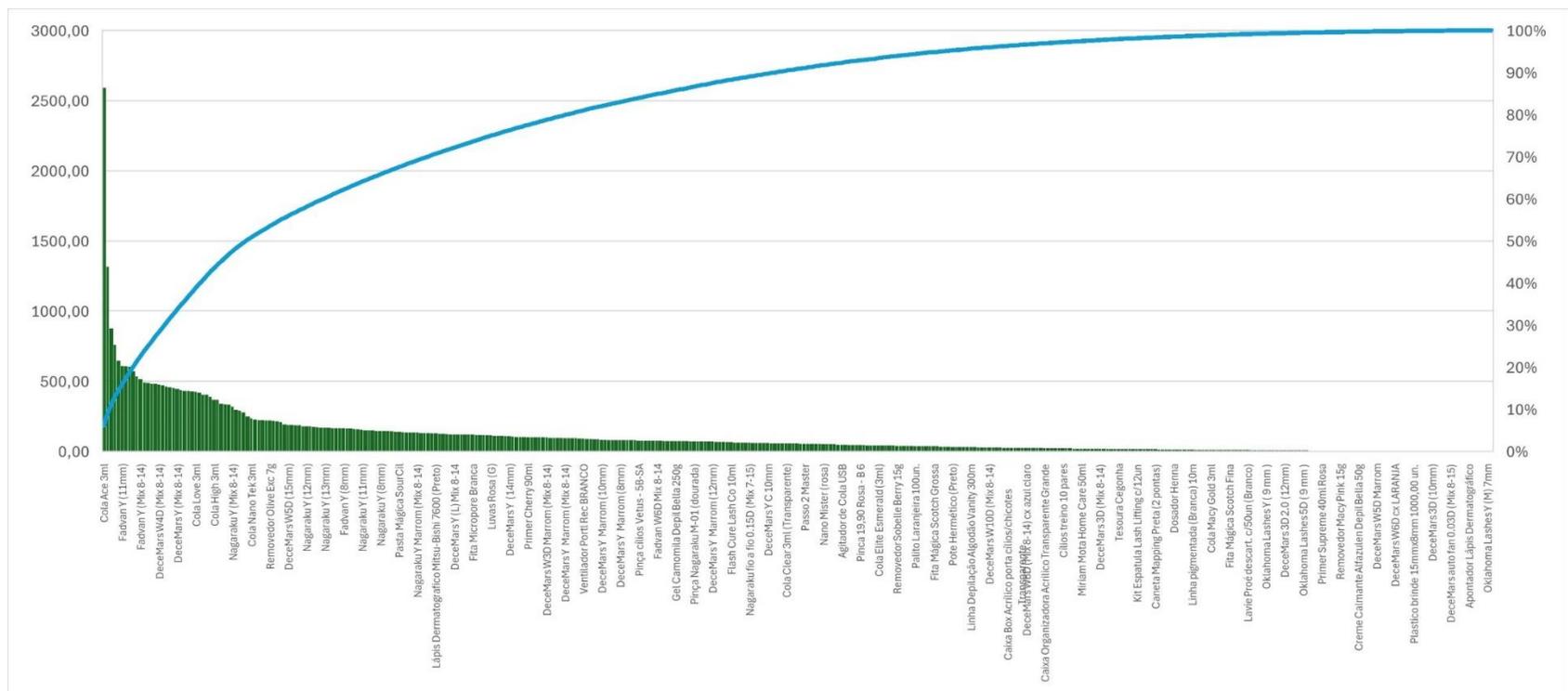


Figura 2 - Classificação ABC do estudo.

Fonte: Elaboração própria.

Com a classificação realizada, encontrou-se 87 produtos na classe A, ou seja, são os produtos que merecem mais atenção por parte dos gestores, pois são a maior fonte de faturamento deles, 91 produtos na classe B e 200 produtos na classe C. Nos resultados deste estudo, serão apresentados os 10 primeiros produtos conforme a classificação (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação ABC do estudo

Produto	Quantidade	Valor médio	Total	% Individual	% Acumulado	Classe
Cola Ace 3ml	37	69,9	2592,65	6,13%	6%	A
Cartela Lâmina Wilkinson	27	48	1317,82	3,12%	9%	A
Cola One 3ml	13	69,90	876,93	2,07%	11%	A
Henna Menela (Cast. Claro)	17	44,90	759,22	1,79%	13%	A
Fadvan W5D (Mix 8-14)	13	49,90	648,70	1,53%	15%	A
Fadvan Y (11mm)	20	29,90	608,87	1,44%	16%	A
Kit Master Pocket	2	289,90	606,15	1,43%	18%	A
Fadvan Y (13mm)	20	29,90	603,44	1,43%	19%	A
Fadvan Y (12mm)	19	29,90	573,54	1,36%	20%	A
DeceMars W5D (13mm)	11	49,90	535,29	1,27%	22%	A

Fonte: Elaboração própria.

A Ace se destaca como o produto mais vendido, pois atende de forma eficiente aos requisitos técnicos exigidos para o ambiente do litoral, levando em consideração a alta umidade e as temperaturas elevadas da região. O principal diferencial desse produto está na sua rápida secagem, com um tempo de apenas 0,5 segundos. Além disso, a Ace possui um tempo de retenção de até 7 semanas, maior do que a maioria das concorrentes se tornando um diferencial, também aguenta altas temperaturas e elevada umidade, condições nas quais poucas concorrentes conseguem se destacar.

Outro benefício relevante é a agilidade que a Ace proporciona aos profissionais, permitindo atendimentos mais rápidos sem comprometer a qualidade do serviço. A combinação entre a secagem eficiente e a retenção prolongada assegura um desempenho superior, tornando a Ace a escolha preferencial entre os profissionais. Por esses grandes benefícios que esse produto acaba sendo o mais vendido da empresa, o que foi confirmado pela classificação ABC.

Após a classificação, os itens da classe A foram analisados seguindo os critérios de produtos: adequados, críticos; ou excessivos. Como resultado, encontrou-se 78 produtos adequados e 9 críticos, ou seja, 9 produtos estão abaixo do estoque do mínimo necessário,

podendo prejudicar o nível de serviço da empresa ao deixar de atender pedidos de clientes. A tabela 2 apresenta a análise dos 10 primeiros itens.

Tabela 2 - Análise dos itens de acordo com os critérios estabelecidos

Produto	Classificação
Cola Ace 3ml	Adequado
Cartela Lâmina Wilkinson	Crítico
Cola One 3ml	Crítico
Henna Menela (Cast. Claro)	Crítico
Fadvan W5D (Mix 8-14)	Crítico
Fadvan Y (11mm)	Crítico
Kit Master Pocket	Adequado
Fadvan Y (13mm)	Crítico
Fadvan Y (12mm)	Crítico
DeceMars W5D (13mm)	Crítico

Fonte: Elaboração própria.

Para verificar o motivo de tantos itens críticos na classe A, principalmente por estarem entre os 10 produtos que mais contribuem com o faturamento da empresa foi sugerido para a empresa que ela determinasse seus estoques com base em cálculos e não de forma aleatória como era realizado. Dessa forma, foi calculado os estoques de segurança, estoque máximo, lote econômico de compra, número de pedidos, e definido o ponto de pedido para controle de estoque (Tabela 3).

Tabela 3 - Cálculos dos estoques, LEC, número de pedidos e modelo de controle

Produto	Estoque de Segurança	Estoque Máximo	Lote econômico de compra	Nº de pedidos no mês	Ponto de Pedido
Cola Ace 3ml	25	33	8	4	29
Cartela Lâmina Wilkinson	86	95	10	3	95
Cola One 3ml	28	34	6	2	33
Henna Menela c/fixador (Cast. Claro)	53	62	8	2	62
Fadvan W5D (Mix 8-14)	43	72	9	1	63

Fadvan Y (11mm)	56	71	15	1	87
Kit Master Pocket	3	5	2	1	5
Fadvan Y (13mm)	64	110	15	1	95
Fadvan Y (12mm)	48	92	15	1	77
DeceMars W5D (13mm)	37	54	16	1	54

Fonte: Elaboração própria.

O modelo de ponto de pedido e o estoque de segurança foram definidos com base em cálculos precisos, tornando o controle mais confiável, assim como foi possível determinar estoque médio e máximo de cada item. Para verificar a melhoria dos novos valores, foi realizada uma comparação entre o cenário atual e o cenário futuro. A Tabela 4 apresenta essa comparação.

Tabela 4 – Comparação de estoques cenário anterior e atual

Produto	Cenário Anterior			Cenário Atual		
	Estoque de Segurança	Estoque máximo	Ponto de Pedido	Estoque de Segurança	Estoque máximo	Ponto de Pedido
Cola Ace 3ml	15	50	20	25	33	29
Cartela Lâmina Wilkinson	3	3	3	86	95	95
Cola One 3ml	5	15	5	28	34	33
Henna Menela c/fixador (Cast. Claro)	5	10	5	53	62	62
Fadvan W5D (Mix 8-14)	10	30	15	43	72	63
Fadvan Y (11mm)	10	30	15	56	102	87
Kit Master Pocket	3	10	3	3	5	5
Fadvan Y (13mm)	10	30	15	64	110	95
Fadvan Y (12mm)	10	38	15	48	92	77
DeceMars W5D (13mm)	10	35	15	37	54	54

Fonte: Elaboração própria.

A tabela apresenta a comparação dos níveis de estoque antes e depois da aplicação de um modelo mais preciso para cálculo do ponto de pedido, estoque de segurança e estoque máximo. A partir disso, é possível identificar as melhorias implementadas na gestão de estoques e seus impactos na disponibilidade de produtos e otimização de recursos.

É possível notar que no novo cenário, a maioria dos produtos apresentou um aumento no estoque de segurança, em que a Cola Ace 3ml foi de 15 para 25 unidades; o produto Fadvan Y (11mm) foi de 10 para 56 unidades e o Fadvan Y (13mm) foi de 10 para 64 unidades. O aumento nesses valores indica que, anteriormente, a empresa corria maior risco de não ter esses produtos disponíveis e conseqüentemente não conseguir atender seus clientes. Após os cálculos, isso deve ser corrigido ajustando os níveis mínimos para um número mais seguro, garantindo que empresa não sofra conseqüências ruins por variações na demanda ou atrasos no abastecimento.

O estoque máximo também sofreu alterações importantes, refletindo um ajuste na capacidade de armazenagem e na previsão de demanda. A Cola Ace Cola Ace 3ml passou de um estoque máximo de 50 unidade para somente 33 unidades e o Kit Master Pocket de 10 para 5 unidades. Essas mudanças trazem um melhor controle de reposição, evitando estoques excessivos que podem gerar custos desnecessários, como despesas com armazenamento e riscos de produtos parados ou vencidos. Por outro lado, alguns produtos, como a Cartela Lâmina Wilkinson (de 3 para 95 unidades) e Fadvan Y (13mm) (de 30 para 110 unidades) tiveram aumento expressivo no estoque máximo, o que pode indicar uma demanda crescente ou a necessidade de manter um estoque estratégico maior devido à variabilidade no fornecimento. Decisão essa que deve ser tomada pelos gestores da empresa.

Em relação ao ponto de pedido, houve aumentos significativos para o produto Henna Menela que passou de 5 para 62 unidades e o produto Fadvan Y (11mm) que passou de 15 para 87 unidades. Esse aumento indica que esses produtos possuem maior giro de estoque e, portanto, precisam ser repostos mais rapidamente, melhorando a eficiência do processo, reduzindo o risco de falta e otimizando a reposição de acordo com o consumo real da empresa.

Os ajustes apresentados na tabela demonstram uma melhora na eficiência do controle de estoque, uma vez que garantem: a redução do capital imobilizado com estoques excessivos, evitando desperdícios e custos desnecessários; um menor risco de falta de produtos devido ao aumento dos estoques de segurança e pontos de pedido mais precisos. Além disso, melhora a previsibilidade e planejamento, permitindo maior alinhamento entre demanda e suprimento.

Por fim, foi realizado também a análise da disponibilidade de estoques da empresa conforme seu estoque atual e suas vendas e definido os indicadores (giro de estoque e cobertura de estoque) para a utilização a partir deste estudo. O resultado está apresentado na tabela da Figura 3.

Item	Item	Estoque Físic	Vendas/ Pedid	Estoque Disp	Estoque Mínim	Estoque Máxim	Compt	DIAS	Giro de estoqu	Cobertura de estoq	Valor de estoque
1	Cola Ace 3ml	46	37	9	25	33	16	8	1	1	R\$ 3.215,40
2	Laminas Wilkinson 20cx c/3	6	27	-21	86	95	107	-37	5	0	R\$ 288,00
3	Cola One 3ml	3	13	-10	28	34	38	-38	4	0	R\$ 209,70
4	Henna Menela c/fixa	9	17	-8	53	62	61	-34	2	1	R\$ 404,10
5	Fadvan W5D (Mix 8	30	13	17	43	72	26	7	0	2	R\$ 1.497,00
6	Fadvan Y (11mm)	24	20	4	56	71	52	2	1	1	R\$ 717,60
7	Kit Master Pocket	7	2	5	3	5	-2	29	0	3	R\$ 2.029,30
8	Fadvan Y (13mm)	34	20	14	64	110	50	4	1	2	R\$ 1.016,60
9	Fadvan Y (12mm)	25	19	6	48	92	42	2	1	1	R\$ 747,50
10	DeceMars W5D (13	25	11	14	37	54	23	8	0	2	R\$ 1.247,50

Figura 3 - Classificação ABC do estudo.

Fonte: Elaboração própria.

Os indicadores de giro de estoque e cobertura de estoque presentes na figura permitem avaliar a eficiência da gestão dos estoques, proporcionando uma visão clara sobre a renovação dos itens e o tempo que o estoque disponível pode sustentar a demanda da empresa. É possível observar que três produtos apresentam um giro muito alto e cobertura baixa, correndo o risco de ruptura, sendo os produtos: Lâmina Wilkinson, Cola One e DaceMars W5D. Já os outros produtos podem ser considerados em uma situação regular, podendo precisar de ajustes.

Por exemplo a Cola One tem seu estoque renovado a cada 4 dias com base no ritmo de vendas ou consumo, ou seja, possui uma alta rotatividade, precisando ser repostado frequentemente. No entanto, como o indicador de dias está negativo (-38 dias), isso significa que o produto já está em falta há muito tempo e a empresa não conseguiu repô-lo no ritmo necessário. Essa combinação de alto giro e cobertura negativa reforça a urgência de reposição para evitar perda de vendas. O mesmo acontece com os produtos Lâmina e Henna Menela.

É importante fazer a análise dos indicadores de forma complementar, pois enquanto um giro alto pode indicar boa eficiência na renovação do estoque, ele precisa ser equilibrado com uma cobertura adequada para evitar rupturas. Da mesma forma, uma alta cobertura pode ser benéfica para evitar desabastecimento, mas pode gerar custos desnecessários se não estiver alinhada com a demanda real. Outro ponto importante a observar é os dias de cobertura indicando por quantos dias o estoque atual será suficiente para suprir a demanda, considerando

o consumo médio. A figura apresenta alguns produtos com valores negativos, ou seja, estão em situação crítica de disponibilidade. Isso se dá, pois a demanda atual supera a quantidade em estoque, podendo levar a perdas de vendas e necessidade de reposições urgentes, geralmente com custos mais altos. Com esse resultado agora a empresa pode reajustar seu estoque podendo retirar esses itens de situação crítica. No entanto é importante que a empresa não mantenha dias de cobertura muito altos, pois pode deixar capital imobilizado e causar risco de obsolescência, principalmente para itens com vida útil curta ou demanda sazonal. Nesse sentido, pode-se observar que a empresa não mantenha estoques excessivos em relação a esses 10 itens.

A coluna comprar representa a necessidade de reposição com base no estoque disponível, na demanda da empresa e no estoque de segurança. Ela permite que a empresa acompanhe de forma rápida e clara quais produtos precisam ser repostos para evitar rupturas e quais possuem estoque suficiente para atender à demanda no próximo período. O cálculo da necessidade de compra foi realizado considerando a soma do estoque mínimo e da demanda mensal, subtraindo o estoque disponível, garantindo assim que o estoque mínimo seja mantido e que a demanda mensal seja coberta, evitando tanto excessos quanto a falta de produtos.

Os únicos produtos que não necessitam de reposição, pois possuem estoques suficientes pra cobrir a demanda são: Cola Ace 3ml e Kit Master Pocket. Todos os outros necessitam de reposição, sendo o a Lâmina Wilkinson o produto que mais precisa, seguido pela Cola One e a Henna Menela. Todos esses itens apresentaram estoques disponíveis abaixo do mínimo, combinados com uma demanda mensal significativa, o que pode levar a rupturas caso não sejam repostos a tempo. Valer ressaltar que esses cálculos já foram realizados com os novos valores de estoque mínimo (segurança) redefinidos neste estudo.

Essa análise é de grande contribuição para uma gestão de estoques mais eficiente da empresa estudada, pois garante que os produtos estejam sempre disponíveis sem gerar excessos desnecessários. Além disso, evita custos com armazenagem de itens que já possuem quantidades adequadas, reduzindo capital imobilizado e otimizando o fluxo de caixa da empresa. Além disso, com esses números definidos, a empresa pode tomar decisões mais estratégicas e assertivas em relação ao planejamento de compras, garantindo um equilíbrio entre disponibilidade e eficiência operacional.

A implementação do modelo de gestão de estoques trouxe diversos benefícios para a empresa analisada, impactando diretamente sua eficiência operacional e financeira. A partir da aplicação de um método mais preciso para determinar os níveis de estoque, foi possível reduzir

significativamente o risco de falta de produtos essenciais. Essa mudança permitiu que a empresa ajustasse sua capacidade de reposição de maneira estratégica, evitando tanto excessos que poderiam gerar custos desnecessários quanto rupturas que comprometeriam as vendas.

Além disso, a otimização dos estoques contribuiu para um melhor equilíbrio entre a disponibilidade de produtos e a redução de despesas relacionadas à armazenagem. Com a revisão dos estoques de segurança, do ponto de pedido e do estoque máximo, a empresa passou a tomar decisões baseadas em cálculos precisos, reduzindo a dependência de estimativas arbitrárias. Esse aprimoramento no controle de estoques possibilitou um planejamento de compras mais assertivo, garantindo que os pedidos fossem feitos no momento certo e em quantidades adequadas para suprir a demanda, sem comprometer o fluxo de caixa.

Outro aspecto fundamental foi a melhoria na previsibilidade da reposição de mercadorias. Ao entender melhor a rotatividade dos produtos, a empresa pôde priorizar aqueles com maior giro e adotar medidas para evitar perdas devido à falta de itens críticos. Produtos de alta demanda, que antes apresentavam problemas de disponibilidade, passaram a ser monitorados de forma mais eficaz, minimizando o risco de ruptura e assegurando um nível de serviço mais eficiente.

Este estudo contribui para a literatura ao integrar a técnica de classificação ABC com análises quantitativas, oferecendo uma nova abordagem para a gestão de estoques. Para os pesquisadores, os resultados sugerem que há espaço para aprofundar o uso de ferramentas analíticas na otimização de estoques, especialmente com a combinação de outras técnicas de análise de dados.

Para os profissionais da indústria, a aplicação dessas práticas pode melhorar a eficiência operacional e reduzir custos, ao priorizar itens com maior impacto financeiro e ajustar o ponto de pedido com base na demanda, o que se alinha com as contribuições de Silva et al. (2018) que exploraram o uso de métodos de análise de dados para otimização de estoques. Para os pesquisadores, os resultados sugerem que há espaço para aprofundar o uso de ferramentas analíticas na gestão de estoques, especialmente com a combinação de técnicas de aprendizado de máquina e outras metodologias quantitativas, como proposto por Martins e Oliveira (2019).

Para os profissionais da indústria, a aplicação dessas práticas pode melhorar a eficiência operacional e reduzir custos, ao priorizar itens com maior impacto financeiro e ajustar o ponto de pedido com base na demanda. A abordagem proposta é similar à de estudos como o de

Pereira e Lima (2017), que enfatizam a importância da análise preditiva para uma gestão de estoques mais eficiente. Para os gestores, as implicações gerenciais deste trabalho sugerem que uma gestão de estoques baseada em dados pode otimizar o capital de giro e melhorar a disponibilidade de produtos, alinhando melhor as estratégias de produção, compras e vendas.

CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar a gestão de estoques de produtos com base na classificação ABC e propor estratégias para melhorar a eficiência do gerenciamento de estoques uma empresa do setor de beleza. Para isso a classificação ABC foi utilizada e novos cálculos para controle de estoques foram definidos para os produtos da classe A.

Os resultados destacam uma análise detalhada do controle de estoques para maior eficiência. Dos 378 produtos avaliados, 87 foram classificados como classe A, sendo os mais relevantes para o faturamento. Nove desses estavam com estoque abaixo do necessário, gerando risco de ruptura. Para corrigir, foram ajustados os cálculos de estoque de segurança, máximo, ponto de pedido e lote econômico de compra (LEC), melhorando a reposição e reduzindo riscos de falta de produtos. Além disso, a análise do giro de estoque e da cobertura de estoque identificou produtos com alto giro e baixa cobertura, como a Lâmina Wilkinson e a Cola One, que estavam em risco de ruptura.

Esse estudo possibilitou a recomendação de reposição urgente desses itens, a fim de evitar a falta de estoque e garantir a continuidade das operações, além disso apontou produtos essenciais como a Cola Ace, que contribuem para o faturamento da empresa. Esses resultados evidenciam a importância de uma gestão de estoques bem estruturada, baseada em cálculos precisos e na aplicação de estratégias como a classificação ABC, que permite uma visão mais clara da necessidade de reposição de produtos e contribui para a otimização dos recursos financeiros da empresa. Futuras pesquisas poderiam ampliar o estudo para diferentes setores e empresas de diversos portes, além de explorar o uso de tecnologias como sistemas mais detalhados de ERP para a previsão de demanda e otimização de estoques com o objetivo de reduzir desperdícios e alinhar a operação a práticas mais responsáveis.

REFERÊNCIAS

Ajala, R., & Giordani, R. (2018). Proposta de gestão de estoques para atacado: um estudo de caso. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, 6(9), 40-60.

- Arnold, J. R. T. (2011). *Administração de materiais*. Atlas.
- Ballou, R. H. (2006). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial* (5ª ed.). Bookman.
- Barros, R. S. (2021). *Revisão dos modelos de previsão de demanda e controle de estoques em uma empresa varejista* [Trabalho de conclusão de curso, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo].
- Bijvank, M., & Vis, I. F. A. (2011). Lost-sales inventory theory: A review. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 1-13.
- Bowersox, D. J., & Closs, D. J. (2011). *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos*. Atlas.
- Christopher, M. (2009). *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: criando redes que agregam valor* (2ª ed.). Cengage Learning.
- De Sousa, J. M. (2023). *Compras e administração de materiais*. Senac.
- Dias, M. A. P. (2009). *Administração de materiais: princípios, conceitos e gestão* (6ª ed.). Atlas.
- Higuchi, A. A. (2006). *Administração de materiais e recursos patrimoniais: uma abordagem logística* (3ª ed.). Atlas.
- Kella, R., & Agrogiannis, C. (2016). *Inventory optimization as a business advantage* [Tese de doutorado].
- Lustosa, L., Mesquita, M. A., & Oliveira, R. J. (2008). *Planejamento e controle da produção*. Elsevier.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de metodologia científica* (5ª ed.). Atlas.
- Martins, E. (2021). *A gestão de estoque em uma franquia de cosméticos na cidade de João Pessoa–PB: um estudo à luz do advento da pandemia do COVID-19 2020-2021* [Trabalho de conclusão de curso].
- Miyakawa, M. K., et al. (2023). Política de estoque: implementação em uma indústria de compostos cosméticos. *Revista FSA*, 20(3).

- Moreira, O., & Santos, C. A. M. (2017). *Gestão avançada da cadeia de suprimentos: em busca de uma vantagem competitiva e sustentável*. Nelpa.
- Novaes, A. G. (2021). *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação* (5ª ed.). Atlas.
- Pascoal, G. (2008). *Gestão de estoques: um enfoque prático* (2ª ed.). Saraiva.
- Pires, S. R. I. (2011). *Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos* (2ª ed.). Atlas.
- Ritzman, L. P., & Krajewski, L. J. (2004). *Administração da produção e operações* (7ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Silva, V. G. M., Gomes, M. G., Braga, C. C., & Rufino, V. E. (2018). Controle de estoque: um estudo sobre a eficiência da gestão de estoque numa distribuidora atacadista em Divinópolis, MG. *Research, Society and Development*, 7(5), e575152.
- Slack, N., Jones, A. B., Johnston, R., & Vieira, D. (2020). *Administração da produção* (8ª ed.). Atlas.
- Tubino, D. F. (2017). *Planejamento e controle da produção: teoria e prática* (3ª ed.). Atlas.
- Viana, J. J. (2002). *Administração de materiais: um enfoque prático* (8ª ed.). Atlas.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos* (5ª ed.). Bookman.

Análise Ergonômica e Implementação de Melhoria Postural em uma Metalúrgica: Um Estudo de Caso

Bianca Chemure dos Anjos (biancachemuredosanjos@gmail.com)

Orientadora: Prof.^a Valderice Herth Junkes (valderice.junkes@unespar.edu.br)

Resumo: A ergonomia desempenha um papel crucial na promoção do bem-estar dos trabalhadores e na melhoria da eficiência organizacional. Nesse sentido, este trabalho foi realizado em uma metalúrgica no litoral do Paraná, com o objetivo de analisar e implementar melhorias ergonômicas no posto de trabalho de um operador de torno. Para alcançar os objetivos do estudo, foram utilizadas ferramentas como luxímetro, decibelímetro e os métodos REBA e OWAS para avaliação postural. Identificaram-se problemas como alturas inadequadas do torno, baixa iluminação e níveis elevados de ruído, fatores que causavam desconforto e riscos à saúde do trabalhador. Com base nos resultados, propôs-se a elevação da altura do torno por meio de um calço, a instalação de novos pontos de luz para atingir 750 lux e o uso combinado de fones para proteção auditiva. Além disso, foram recomendados pausas regulares, treinamento postural e revisões ergonômicas contínuas. Assim, as soluções implementadas demonstraram ser eficazes, atendendo às necessidades ergonômicas do operador e respeitando as limitações financeiras da empresa. Este trabalho reforça a importância de ajustes ergonômicos no ambiente industrial, promovendo melhorias nas condições de trabalho e prevenção de lesões ocupacionais.

Palavras-chave: Ergonomia; Ajustes Ergonômicos; Operador de Torno; Metalurgia; Saúde Ocupacional.

Ergonomic Analysis and Implementation of Postural Improvement in a Metallurgical Plant: A Case Study

Abstract: Ergonomics plays a crucial role in promoting worker well-being and improving organizational efficiency. In this sense, this study was carried out in a metalworking company

on the coast of Paraná, with the aim of analyzing and implementing ergonomic improvements in the workplace of a lathe operator. Problems such as specific lathe heights, low lighting, and high noise levels were identified, factors that caused discomfort and risks to the worker's health. To achieve the objectives of the study, tools such as a lux meter, decibel meter, and the REBA and OWAS methods for postural assessment were used. Based on the results, it was proposed to raise the height of the lathe by means of a wedge, install new light points to reach 750 lux, and use headphones for hearing protection. In addition, regular breaks, postural training, and continuous ergonomic reviews were recommended. Thus, innovative solutions were advanced, meeting the ergonomic needs of the operator and respecting the company's financial limitations. This work reinforces the importance of ergonomic adjustments in the industrial environment, promoting improvements in working conditions and preventing occupational injuries.

Keywords: Ergonomics; Ergonomic Adjustments; Lathe Operator; Metallurgy; Occupational Health.

1. INTRODUÇÃO

A análise do ambiente de trabalho e da ergonomia é essencial para o bem-estar dos trabalhadores e a eficiência produtiva das empresas (Silva et al., 2020). A ergonomia visa adequar as condições de trabalho às características físicas e cognitivas dos colaboradores, prevenindo doenças ocupacionais, como lesões por esforços repetitivos (LER), reduzindo a fadiga, o estresse e os riscos de acidentes. Um ambiente ergonomicamente adequado melhora a qualidade de vida dos trabalhadores e impacta positivamente a produtividade, reduzindo o absenteísmo e os custos relacionados a afastamentos médicos (Villarouco & Andreto, 2008).

O avanço tecnológico aumentou as exigências de produtividade e qualidade, elevando a sobrecarga de trabalho, muitas vezes em condições insalubres (Lima et al., 2023). A pressão por redução de custos frequentemente prioriza a contenção de gastos em detrimento de investimentos em segurança, tornando o ambiente de trabalho menos seguro. Muitas análises de acidentes focam apenas em fatores técnicos ou comportamentais, responsabilizando o trabalhador (Bernardini, 2019).

Segundo o Ministério da Previdência Social, em 2019, quase 39 mil trabalhadores foram afastados por LER/Dort, e em 2023, mais de 2,5 milhões de brasileiros se afastaram por motivos de saúde (Brasil, 2019). O setor metalúrgico é historicamente associado a doenças ocupacionais

devido a atividades repetitivas e posturas inadequadas (Oliveira & Araújo, 2005). Picoloto e Silveira (2018) destacam que doenças osteomusculares são a principal causa de afastamento na indústria metalúrgica. Assim, a ergonomia desempenha papel essencial na minimização dos impactos negativos de um posto de trabalho inadequado.

Diante disso, esta pesquisa busca responder: Como a análise ergonômica pode auxiliar o trabalho no setor de usinagem de uma metalúrgica a ser ergonomicamente adequado para o operador? Para isso, o objetivo geral é analisar a ergonomia do posto de trabalho no setor de usinagem da Promaq - Serviços e Instalações Industriais. Para isso, definiram-se os seguintes objetivos específicos: i) Levantar o fluxo de trabalho no setor de usinagem; ii) Analisar as condições ergonômicas e identificar fatores que afetam a saúde e o desempenho do operador; iii) Avaliar os postos de trabalho e ferramentas por meio de análise ergonômica; iv) Propor melhorias ergonômicas no ambiente de trabalho.

O foco da pesquisa é avaliar as condições ergonômicas, especialmente a altura do torno em relação à estatura dos operadores, e propor melhorias para um ambiente de trabalho mais ergonômico. Esse estudo insere-se na ergonomia aplicada à engenharia de produção, demonstrando soluções técnicas para um ambiente de trabalho mais eficiente e saudável, alinhando-se aos princípios da engenharia do trabalho, uma das dez áreas reconhecidas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), justificando a aplicação deste estudo.

Este estudo deve-se ao fato de que as atividades realizadas no ambiente da usinagem envolvem operações que exigem alta precisão, repetitividade e manuseio de equipamentos, o que pode gerar riscos ergonômicos significativos. Além disso, a usinagem é uma etapa fundamental no processo produtivo, e melhorias ergonômicas nesse setor podem impactar diretamente a eficiência operacional e a saúde dos trabalhadores.

A estrutura compreende cinco seções: a primeira apresenta a contextualização, justificativa, problemática e objetivos; a segunda aborda o referencial teórico; a terceira descreve a metodologia; a quarta apresenta os resultados e discussões; e a quinta traz as conclusões e referências bibliográficas.

Este estudo apresenta contribuições práticas e teóricas relevantes para o ambiente de usinagem. Do ponto de vista prático, promove a melhoria das condições de trabalho, reduzindo riscos ergonômicos, aumentando a eficiência operacional e diminuindo acidentes e

afastamentos por problemas de saúde ocupacional. No campo teórico, o estudo aprofunda o conhecimento sobre ergonomia aplicada e integra saúde ocupacional, serve de base para pesquisas futuras e contribui para a validação de métodos de análise ergonômica em contextos industriais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 NR17

A Norma Regulamentadora Nº 17 (NR 17) trata de questões relacionadas ao conforto, ergonomia e segurança no ambiente de trabalho, atribuindo aos empregadores a responsabilidade de criar condições adequadas para todos os funcionários. Isso implica estabelecer requisitos que adaptem as condições de trabalho às características dos trabalhadores, promovendo conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente (Maas et al., 2020).

Segundo Pinheiro e França (2006), a abordagem ergonômica deve ser considerada desde a fase inicial de concepção de máquinas e ambientes de trabalho. Nesse contexto, a consideração das necessidades do ser humano é essencial, garantindo que as partes mecânicas e as características ambientais sejam integradas de forma harmoniosa.

2.2 ERGONOMIA

A ergonomia é definida como o conjunto de conhecimentos científicos relacionados ao ser humano, necessários para a concepção de instrumentos, máquinas e dispositivos que proporcionem o máximo de conforto, segurança e eficiência (Wisner, 1987). Esse campo de estudo concentra-se na adaptação do trabalho às capacidades e limitações das pessoas, além de analisar o desempenho dos indivíduos em seus ambientes laborais. Diversos fatores do ambiente de trabalho, como temperatura, umidade, ventilação, iluminação, cor, ruído, postura e movimento, influenciam diretamente a qualidade do trabalho realizado pelos funcionários (Moura et al., 2020).

De acordo com Iida (2005), a ergonomia é descrita como o estudo das interações entre o homem, seu trabalho, o equipamento e o ambiente, com ênfase na aplicação de conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia para resolver problemas decorrentes dessas interações.

Maciel et al. (2010) afirmam que o estudo da ergonomia permite o uso de técnicas de análise do trabalho para identificar aspectos que causam desconforto aos trabalhadores, possibilitando a implementação de melhorias nas condições de trabalho. Nesse contexto, é

crucial que os arranjos físicos do ambiente de trabalho sejam saudáveis e agradáveis, projetados para oferecer máxima proteção e prevenir acidentes e doenças ocupacionais. A execução de tarefas em condições inadequadas pode resultar em diversas enfermidades (SEBRAE, 2022).

2.3 ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO

A análise ergonômica do trabalho (AET) envolve abordagens quantitativas e qualitativas que permitem descrever e interpretar os eventos presentes nas atividades examinadas (Valentin, 2016). Segundo o autor, o objetivo da ergonomia é avaliar as demandas da empresa, identificando as exigências dos postos de trabalho para, em seguida, propor melhorias que favoreçam o bem-estar dos trabalhadores.

Portanto, a aplicação das fases da ação ergonômica contribui para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e saudável, promovendo a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, além de melhorar a eficiência organizacional.

De forma resumida, Nascimento e Rocha (2018), descrevem as fases da ação ergonômica, sendo:

1. Análise da Demanda: Consiste em identificar e compreender as necessidades e problemas existentes no ambiente de trabalho.
2. Formulação do Pré-Diagnóstico: Nesta etapa, são realizadas observações preliminares para delimitar o escopo, identificando os pontos.
3. Tratamento dos Dados Obtidos: Fase em que são analisadas as tarefas e atividades realizadas pelos trabalhadores, coletando informações sobre as condições de trabalho.
4. Diagnóstico: Aqui, são identificadas as principais causas dos problemas ergonômicos, permitindo compreender as fontes dos desconfortos e lesões.
5. Processo de Transformação: Na etapa final, implementam-se ações corretivas e ajustes para melhorar as condições de trabalho, com o objetivo de reduzir os riscos e promover um ambiente mais saudável.

2.4 FERRAMENTAS ERGONÔMICAS - MÉTODO OWAS E REBA

Profissionais que atuam em linhas de produção industrial frequentemente permanecem em pé por mais de 50% do tempo de trabalho (Tomazini, 2023). Embora essa postura seja essencial para algumas funções, ela pode ter vários efeitos adversos no corpo. Trabalhar em pé oferece maior flexibilidade e agilidade, facilita o alcance dos membros superiores e inferiores e contribui para o alinhamento adequado da coluna, além de gerar menor pressão sobre os discos intervertebrais em comparação com a posição sentada. No entanto, essa postura também está

associada a dores na região cervical e lombar, desconforto e inchaço nos membros inferiores, além de fadiga, parto prematuro e aterosclerose carotídea (Brand et al., 2017; Chaffin et al., 2006; Karwowski & Marras, 2003). Considerando que uma grande parte da população trabalhadora adota essa postura, o impacto financeiro decorrente de faltas devido a problemas nos membros inferiores pode ser significativo (Micheletti Cremasco et al., 2019).

A análise e correção de posturas no trabalho enfrentam desafios, especialmente na identificação e registro de dados. Segundo Valentin (2016), essas dificuldades dificultam melhorias ergonômicas. A observação direta é útil, mas métodos experimentais são fundamentais para aprimorar as condições de trabalho. Ferramentas como OWAS e REBA são essenciais na avaliação ergonômica.

O método OWAS (Ovako Working Posture Analysing System) é uma ferramenta ergonômica utilizada para avaliar as posturas de trabalho e identificar riscos de lesões musculoesqueléticas. Criado pela empresa finlandesa Ovako Oy, especializada em siderurgia, o OWAS classifica as posturas da coluna em quatro categorias, dos braços em três categorias, e dos membros inferiores em sete categorias, além de considerar três categorias de peso das cargas manipuladas ou da força exercida (Kee, 2022).

DORSO	1 Reto	2 Flexionado	3 Reto e torcido	4 Flexionado e torcido esc. 2131 RF
BRAÇOS	1 Dois braços para baixo	2 Um braço para cima	3 Dois braços para cima	4 2 1 1 1 RF
PERNAS	1 Duas pernas retas	2 Uma perna retas	3 Duas pernas flexionadas	
	4 Uma perna flexionada	5 Uma perna ajoelhada	6 Dedocamento com pernas	7 Duas pernas suspensas
CARGA	1 Carga ou força até 10 kg	2 Carga ou força entre 10 kg e 20 kg	3 Carga ou força acima de 20 kg	4 5 RF

Figura 1 – Método OWAS e Codificação nas Posturas Observadas

Autor: Iida (2016)

Após realizada a classificação, as posturas são ordenadas conforme a Figura 2b (ANEXO 1), variando entre os níveis de gravidade, sendo:

- Nível 1: Postura Aceitável;
- Nível 2: Postura deve ser corrigida na próxima revisão periódica;

- Nível 3: Postura deve ser corrigida em curto prazo;
- Nível 4: Postura deve ser corrigida imediatamente.

Além disso, avaliou-se a duração da postura adotada durante as atividades para determinar o nível de criticidade da postura (ANEXO 1).

Já o método REBA (Rapid Entire Body Assessment) realiza uma avaliação semelhante, com foco na análise das posturas e movimentos corporais durante a execução das tarefas. Este sistema é eficaz na identificação de riscos musculoesqueléticos em diversas tarefas, sendo amplamente utilizado em cuidados de saúde e outros setores de serviços. Tanto o OWAS quanto o REBA categorizam os movimentos articulares do corpo em grupos específicos para facilitar a avaliação (Kee, 2022).

Figura 3 – Descrição dos movimentos realizados pelos operadores do REBA

Autor: Kee (2022)

As posturas adotadas pelos trabalhadores são classificadas segundo os níveis de risco do REBA, variando de baixo a muito alto risco:

- Nível 1 (baixo risco): A pontuação baixa indica que as posturas e os movimentos não apresentam risco significativo de lesões, não sendo necessária intervenção imediata.

- Nível 2 (risco moderado): A pontuação média sugere que algumas posturas ou movimentos podem representar um risco, mas não são críticos. Correções podem ser necessárias a médio prazo.
- Nível 3 (alto risco): A pontuação alta indica risco considerável de lesões musculoesqueléticas, sendo necessária intervenção corretiva urgente.
- Nível 4 (muito alto risco): A pontuação muito alta reflete um risco significativo de lesões graves, exigindo uma mudança imediata nas condições de trabalho.

Tanto o método OWAS quanto o REBA caracterizam os movimentos articulares do corpo em grupos específicos para facilitar a avaliação (Kee, 2022).

2.3 SETOR METALÚRGICO

O setor metalúrgico, também conhecido como indústria metalmecânica, está diretamente ligado ao processamento e à transformação de materiais metálicos. Seus principais processos incluem usinagem, soldagem, deformação plástica e fundição (Faria; Oliveira, 2019). De acordo com o anuário estatístico do setor metalúrgico (Brasil, 2018), essa indústria possui uma representatividade econômica significativa no Brasil, com impacto direto em diversos outros setores, como a construção civil e a indústria automobilística.

Conforme a Pesquisa Industrial Anual (PIA) do IBGE para 2022, o setor de metalurgia foi responsável por 7,4% da receita líquida de vendas da indústria brasileira. Embora esse percentual não reflita diretamente a participação no Produto Interno Bruto (PIB) industrial, ele evidencia a relevância do setor dentro da estrutura econômica nacional (IBGE, 2023).

Apesar da expansão e da importância econômica, o ambiente de trabalho nas empresas metalúrgicas frequentemente apresenta condições que favorecem a ocorrência de acidentes e problemas ergonômicos. Os trabalhadores do setor estão frequentemente expostos a movimentos repetitivos, manipulação de cargas pesadas, posturas forçadas, vibrações, ruídos excessivos, iluminação inadequada, entre outros riscos (Nascimento, 2016; Valentin, 2016). Esses fatores contribuem para o aumento dos riscos à saúde e segurança, resultando em um número significativo de afastamentos.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 ESCOPO DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada na Promaq - Serviços e Instalações Industriais, uma metalúrgica no Litoral do Paraná, especializada em fabricação e manutenção de peças industriais, funcionando de segunda a sábado, das 8h às 17h48, atendendo diversos setores industriais.

O estudo concentrou-se no setor de usinagem, especificamente na tornearia, responsável pelo processamento de peças metálicas para produção e manutenção em diversos setores. Esse setor foi escolhido devido à alta exigência física e técnica das atividades, tornando-o relevante para a análise ergonômica dos postos de trabalho.

No setor de tornearia, foram identificados diversos postos de trabalho e atividades, como a operação de tornos mecânicos, preparação de ferramentas e manutenção periódica das máquinas. A rotina dos trabalhadores é caracterizada por processos repetitivos, esforço físico, posturas prolongadas e a necessidade de alta precisão nas tarefas executadas.

O processo de usinagem segue uma sequência de etapas, conforme ilustrado na Figura 4.

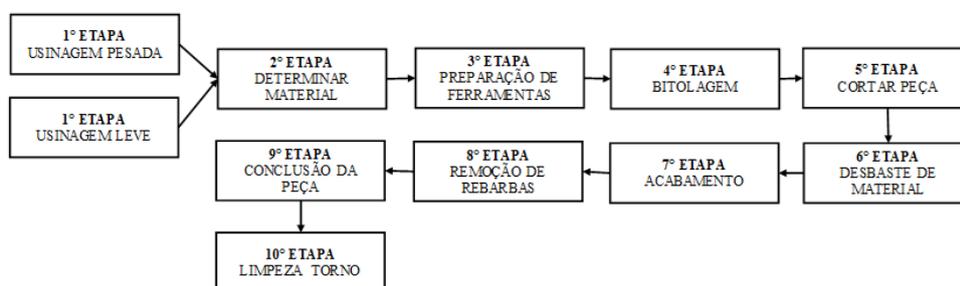


Figura 4 - Fluxograma de operação do torno

Fonte: Elaborado pelo autor

O processo de usinagem é dividido em várias etapas. Primeiramente, é determinado o tipo de usinagem a ser aplicada (1ª etapa), podendo ser leve ou pesada. A usinagem leve envolve a remoção de pequenas quantidades de material com alta velocidade e baixa força aplicada, sendo indicada para peças de geometria simples e superfícies lisas, geralmente feitas de materiais mais macios, como alumínio e plásticos. Já a usinagem pesada é usada em peças de grandes dimensões e alta complexidade, que requerem a remoção significativa de material e

aplicação de alta força de corte. Esse tipo de usinagem é utilizado em materiais de alta resistência, como metais de liga e superligas, e abrange técnicas como fresamento pesado, torneamento pesado e mandrilhamento pesado. A escolha entre os dois tipos de usinagem depende das necessidades específicas de cada projeto. A determinação do material (2ª etapa), é essencial para garantindo a resistência e durabilidade da peça.

Na sequência (3ª etapa), as ferramentas de corte, como brocas, são preparadas e ajustadas para garantir precisão. A bitolagem das peças (4ª etapa) é realizada para assegurar as dimensões corretas. Em seguida (5ª etapa), as peças são cortadas, e então desbastadas (6ª etapa), e recebem os acabamentos necessários (7ª etapa), como furos e ajustes. Após a remoção das rebarbas (8ª etapa), a peça passa por inspeção final (9ª etapa) para garantir conformidade com os requisitos. A manutenção preventiva da máquina, incluindo limpeza (10ª etapa) e troca de óleo, é realizada para garantir a qualidade e continuidade da produção. Este estudo ergonômico focou em dois postos de trabalho devido às muitas reclamações dos trabalhadores.

3.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Este estudo adota uma abordagem de pesquisa de natureza mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos. A escolha pelo método quantitativo justifica-se pela possibilidade de coletar dados numéricos que permitem a medição objetiva de variáveis e a realização de análises estatísticas. O método qualitativo, por sua vez, é essencial para explorar e compreender, de maneira aprofundada, as percepções, experiências e o contexto dos participantes (Minayo; Sanches, 1993).

Quanto aos procedimentos técnicos e metodológicos, a pesquisa classifica-se como um estudo de caso, realizado por meio de observação direta em um setor específico de uma empresa. O estudo foi estruturado em etapas sequenciais e planejadas, garantindo uma análise ergonômica detalhada do posto de trabalho dos operadores de torno, conforme ilustrado na Figura 5.

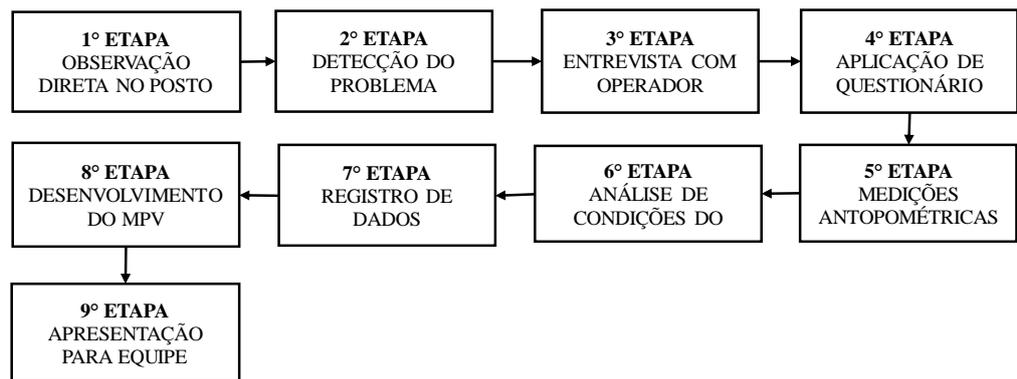


Figura 5 – Fluxograma da Pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor

A pesquisa teve início com a observação direta do posto de trabalho e do ambiente em que os operadores desempenhavam suas atividades. Essa fase foi crucial para identificar pontos críticos no processo, posturas inadequadas e as condições gerais do local.

Em seguida, os principais problemas identificados no posto de trabalho foram analisados, considerando fatores como o conforto, a segurança do operador e os relatos fornecidos por eles. As entrevistas foram realizadas por meio de conversas diretas e da aplicação de um questionário (**ANEXO 2**), o que possibilitou entender as queixas dos operadores, como lidavam com as dores no corpo e suas sugestões para melhorar o ambiente de trabalho. Essa etapa foi fundamental para incluir a perspectiva de quem vivencia o processo diariamente.

Logo após, foram analisadas as condições de trabalho referentes à iluminação e ao ruído no local, uma vez que estas são condições ambientais que afetam diretamente a saúde e o desempenho dos trabalhadores. Para isso, foram realizadas medições com ferramentas específicas: um luxímetro digital para avaliar os níveis de iluminação e um decibelímetro com capacidade de registro para medir os níveis de ruído. As medições foram realizadas ao longo de 30 dias (de 5 de novembro a 5 de dezembro de 2024), três vezes ao dia: no início, no meio e no final da jornada de trabalho, totalizando 90 medições.

Após essa etapa, foram realizadas medições do posto de trabalho para verificar sua adequação às características físicas dos operadores. A coleta de dados incluiu observações in loco, utilizando instrumentos como fitas métricas, paquímetros e goniômetros para avaliar dimensões como altura da bancada, espaço para movimentação e ângulo de alcance. Também

foram feitas medições antropométricas dos operadores, considerando parâmetros como altura, peso, largura dos ombros, comprimento dos braços e curvatura corporal nas posições de trabalho. Os dados coletados foram inseridos no Software Ergolândia para análise ergonômica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE ERGONÔMICA

A análise das condições ergonômicas no ambiente de trabalho da empresa incluiu medições de iluminação e ruído, dois fatores cruciais que influenciam diretamente a saúde e o desempenho dos trabalhadores. A iluminação inadequada pode gerar desconforto visual, contribuindo para a fadiga ocular e prejudicando a concentração, enquanto o excesso de ruído está associado a perda auditiva ocupacional e aumento do estresse (Oliveira; Murofuse, 2001).

Assim, durante o período de coleta de dados, que abrangeu 30 dias de observações, foram realizadas medições dos níveis de iluminação utilizando luxímetro digital e dos níveis de ruído com um decibelímetro. Esses dados são apresentados no **APÊNDICE A – QUADRO 1 DE ILUMINAÇÃO E RUÍDO**, visando identificar pontos críticos e sugerir possíveis melhorias para um ambiente mais saudável e eficiente.

Desta forma, com os levantamentos realizados utilizando a metodologia de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas a NBR-8995/2013, que trata sobre a iluminância, foi possível verificar se os índices de iluminação nos ambientes e postos de trabalho analisados estão de acordo com a norma. Para trabalhos em processamento de metais no setor de usinagem pesada, o nível de iluminância recomendado pela norma NBR-8995/2013 é de 300 lux (Quadro 2). No entanto, para operações que demandam maior precisão, como a usinagem de alta precisão, o valor indicado é de 500 lux.

TRABALHO E PROCESSAMENTO EM METAL		TREABALHO EM FERRO OU AÇO	
USINAGEM GROSSEIRA	300 LUX	USINAGEM,BOBINARIA E LINHA DE CORTE	300 LUX
USINAGEM DE PRECISÃO	500 LUX		

Quadro 2 – Quadro base de iluminação.

Fonte: Adaptado NBR 8995/2013

Os resultados indicaram que a luminosidade no posto de trabalho é razoável, com uma média de 536 lux (Quadro3), atendendo aos requisitos adequados para o uso de torno.

RESULTADO LUXÍMETRO		
MÉDIA POR TURNO		
08:30	13:00	17:00
539	525	538
MÉDIA GERAL		
536		

Quadro 3 – Resultado Luxímetro

Fonte: Elaborado pelo autor

Para operações de usinagem de alta precisão, a iluminação deveria ser ajustada para 750 lux, segundo a norma **NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho**, garantindo maior precisão e segurança durante a execução das atividades.

Resultados semelhantes foram encontrados por Fontes e Ortiz (2019), onde identificaram níveis de iluminância abaixo do recomendado em áreas da fábrica, incluindo a usinagem, indicando insuficiência luminosa de acordo com a norma NBR ISO/CIE 8995-1/2013. Volponi (2013) também ressalta que iluminação inadequada compromete a segurança e a produtividade, pois tarefas complexas exigem boa visibilidade.

As medições de ruído nos postos de trabalho analisados (**APÊNDICE A**) indicaram níveis acima do limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que é de 55 dB ou menos. O valor médio observado foi de 93 dB, representando um excesso de 40,8% em relação ao limite da OMS, sendo considerado muito alto para a atividade. Esse nível de exposição pode causar dificuldades de concentração nos trabalhadores. Além disso, a NR 15 estabelece que níveis acima de 55 dB podem levar à perda auditiva quando há exposição durante uma jornada de 8 horas diárias.

Gonçalves e Iguti (2006) identificaram níveis de ruído entre 65 dB(A) e 105 dB(A) em metalúrgicas, confirmando a alta taxa de ruído no setor metalmeccânico e seus possíveis impactos na saúde dos trabalhadores.

Após a análise do ambiente de trabalho, foram coletados dados sobre estatura dos operadores, cargas de levantamento, posturas adotadas e outras características dos postos de trabalho. Foi identificado que um operador, com estatura consideravelmente acima da média, precisou adotar posturas inadequadas ao manusear o torno, resultando em desconforto e maior risco de lesões (Figura 6).



Figura 6 – Posição irregular do operador

Fonte: Elaborado pelo autor

Para validar essas observações, foram realizadas avaliações ergonômicas utilizando dois métodos distintos. Primeiramente, foi realizada a análise por meio do Método OWAS, onde avaliou as condições ergonômicas do trabalhador.

Exportar	
Nome do trabalhador	Maico Flores
Empresa	Promaq Engenharia
Setor	Usinagem
Função	Torneiro
Tarefa	1 Usinagem
Tempo nesta tarefa	100 %
Postura das costas	4 - Inclineda e torcida
Postura dos braços	1 - Os dois braços abaixo dos ombros
Postura das pernas	4 - De pé ou agachado com ambos os joelhos flexionados
Esforço	1 - Carga menor que 10 Kg
Categoria de ação	4 - São necessárias correções imediatas

Navigation icons: Home, Previous, 1 de 1, Next, End

Right sidebar icons: POSTURA NO TEMPO, VIDEO, IMPRIMIR, EXCLUIR, PROCURAR, LISTA COMPLETA, VOLTAR

Figura 7 – Modelo Método OWAS

A postura das costas foi classificada como "4 - Inclineda e torcida", indicando uma posição inadequada que pode gerar desconforto ou lesões, especialmente na região lombar. A postura dos braços foi avaliada como "1 - Os dois braços abaixo dos ombros", considerada

ergonomicamente aceitável e sem sobrecarga significativa. Já a postura das pernas foi classificada como "4 - De pé ou agachado com ambos os joelhos flexionados", evidenciando uma posição desconfortável e potencialmente prejudicial para as articulações dos joelhos. Em relação ao esforço físico, foi identificado que a carga manuseada era menor que 10 kg, classificada como "1", dentro dos limites considerados seguros para a tarefa.

A avaliação foi categorizada como "4 - São necessárias correções imediatas", indicando a urgência de intervenções para corrigir problemas ergonômicos. Esses ajustes são essenciais para minimizar os riscos à saúde e prevenir lesões (Souza; Pinto, 2024). Recomenda-se revisar a altura do torno, avaliar a postura durante a operação e implementar melhorias no ambiente de trabalho, como o uso de suportes ou outros recursos ergonômicos, para garantir maior conforto e segurança ao operador. Isso pode ser particularmente importante em tarefas repetitivas, como as realizadas em torno, onde o operador está exposto a movimentos contínuos e posturas não ergonômicas.

Posteriormente, foi o REBA (Rapid Entire Body Assessment), que avalia o risco ergonômico relacionado às posturas no ambiente de trabalho. Durante a avaliação, diversos aspectos posturais indicaram riscos ergonômicos significativos. Os dados coletados foram inseridos no software Ergolândia, conforme apresentado na Figura 8.

Exportar			
Nome do trabalhador	Maico Flores		
Empresa	Promaq Engenharia		
Setor	Usinagem		
Função	Torneiro		
Tarefa Executada	Usinagem em peças		
Pescoço:	> 20 graus	Opcional:	
Tronco	> 60 graus	Opcional:	
Pernas:	Suporte em uma perna	Opcional:	Flexão dos joelhos de 30 a 60 graus
Carga:	< 5 Kg	Opcional:	
Punho:	> 15 graus	Opcional:	
Braço:	Entre 20 e 45 graus	Opcional:	
Antebraço:	60 a 100 graus	Pega:	Razoável
Atividade 1:		Atividade 2:	
Atividade 3:	Mudanças posturais grandes ou postura instável	Resultado:	8

Figura 8 – Banco de Dados Método Reba

Conforme a Figura 8 e as medições, a inclinação do pescoço foi superior a 20°, indicando uma posição forçada e potencialmente desconfortável. O tronco apresentou inclinação superior a 60°, um fator crítico para fadiga muscular e dores lombares, conforme descrito Franceschi (2015). O trabalhador utilizava suporte em uma perna, com flexão dos joelhos entre 30° e 60°, caracterizando uma postura instável, especialmente em atividades prolongadas.

Apesar de a carga manipulada ser inferior a 5 kg, a postura inadequada aumentava o esforço físico, um fator crítico que, conforme De Paula e Amaral (2019), pode levar a lesões por esforços repetitivos, especialmente com o punho em posição inadequada superior a 15°. Além disso, a elevação do braço entre 20° e 45° graus, juntamente com a inclinação do antebraço entre 60° e 100°, exigem esforço adicional, o que, conforme Karwowski e Marras (2003) e Gelinski (2021), pode resultar em sobrecarga nas articulações do ombro e cotovelo, aumentando o risco de doenças ocupacionais. Por fim, a avaliação da pega foi considerada razoável.

O escore de 8 obtido pelo método REBA classifica a situação como de alto risco, reforçando a necessidade urgente de intervenções ergonômicas para corrigir essas posturas e minimizar os riscos à saúde do trabalhador. Sendo assim, Amarante et al. (2020), afirma, que escores acima de 8 tem necessidade de intervenção ergonômica cuja análise de risco para saúde do trabalhador foi considerada de caráter de risco alto, exigindo medidas corretivas a serem implementadas o mais rápido possível para evitar lesões.

4.2 PROPOSTAS DE MELHORIA

4.2.1 AJUSTE NA ILUMINAÇÃO

As análises ergonômicas no setor de usinagem da Promaq identificaram diversos fatores críticos, como iluminação, ruído e posturas inadequadas. Com base nesses dados, foram propostas melhorias para otimizar as condições de trabalho, promover a segurança e saúde dos operadores. As propostas foram discutidas com um técnico de segurança, engenheiro mecânico e projetista, com o objetivo de atender às normas regulamentadoras, prevenir lesões, reduzir o absenteísmo e melhorar a eficiência e o conforto no ambiente de trabalho.

A primeira melhoria sugerida, com base nos estudos de Salibra (2021), foi a adequação da iluminação para garantir conforto visual e segurança no trabalho. Propôs-se a instalação de dois pontos de luz ao redor dos tornos, elevando os níveis de iluminação para 750 lux. Isso contribuiria para a melhoria da visibilidade, reduzindo o risco de erros operacionais e aumentando a segurança dos operadores.

Além da instalação de pontos de luz artificiais, considera-se a possibilidade de aproveitar a luz natural como uma solução complementar para melhorar a iluminação do ambiente de trabalho. A adoção de telhas translúcidas em áreas estratégicas da cobertura do setor de usinagem pode proporcionar uma iluminação mais uniforme durante o dia, reduzindo a dependência de luz artificial e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica. Essa medida, além de ser uma alternativa sustentável, contribui para o conforto visual dos operadores, promovendo um ambiente de trabalho mais agradável e produtivo. No entanto, é fundamental avaliar o posicionamento das telhas para evitar o ofuscamento e o superaquecimento do ambiente, garantindo um equilíbrio entre eficiência luminosa e conforto térmico.

4.2.2 REDUÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO

Os níveis de ruído no ambiente de trabalho apresentaram uma média de 93 dB, muito superiores ao limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) que é de 55 dB. A exposição prolongada a esses níveis pode causar danos auditivos e dificultar a concentração dos trabalhadores.

Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) utilizados pelo trabalhador do torno incluem fones plug, luvas mecânicas, óculos transparentes de proteção e máscara PFF2.

Os dados do técnico de segurança indicaram que os protetores auditivos tipo plug, atualmente usados, oferecem uma redução de apenas 12 dB, insuficiente frente ao nível de 93 dB. Por isso, recomendou-se a substituição dos protetores tipo plug pela dupla proteção: plug + protetores tipo concha. A concha aumenta a atenuação para 30 dB, enquanto a combinação com o plug oferece um ganho adicional de 5 a 10 dB.

Segundo o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), quando os protetores tipo plug ou concha não oferecem atenuação suficiente, a dupla proteção é indicada, proporcionando um ganho de 5 a 10 dB na atenuação do ruído, o que ajuda a prevenir a perda auditiva induzida por ruído (PAIR) (Barcelos et al., 2023).

4.2.3 AJUSTES ERGONÔMICOS NO POSTO DE TRABALHO

A análise ergonômica indicou que o operador, com estatura acima da média, adota posturas inadequadas ao operar o torno, o que causa desconforto e aumenta o risco de lesões musculoesqueléticas. Para corrigir isso, é necessário ajustar a altura do torno, adaptando o posto de trabalho às características físicas do operador. Com base nas avaliações, foi proposta a

criação de um calço para elevação do torno, conforme ilustrado na Figura 9, para atender às necessidades do operador alto.

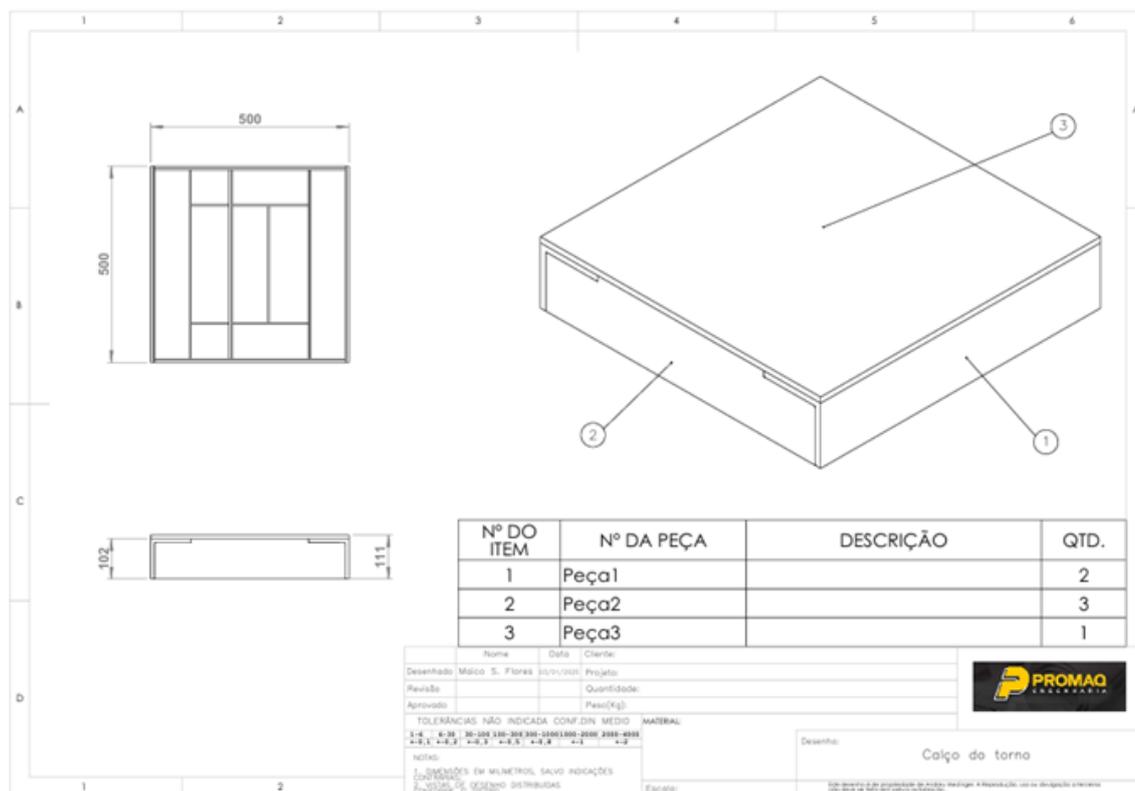


Figura 9 – Calço para adaptação do torno

Fonte: Elaborado pelo autor e colaboradores (2025).

Com ajustes adequados, o trabalhador reduz o esforço físico e a fadiga, pois não precisa se curvar ou esticar excessivamente (Assis et.al, 2018). Estudos demonstram que ajustes simples, como a adequação de bancadas e ferramentas, podem diminuir em até 30% os casos de lesões musculoesqueléticas, um dos problemas mais comuns enfrentados pelos trabalhadores (Iida, 2005). Além disso, intervenções ergonômicas, como pausas programadas, implementação de dispositivos de levantamento de carga e melhorias no controle de vibração, têm resultado em uma significativa redução no absenteísmo e em ganhos de produtividade de até 25% (Grandjean, 1998).

De acordo com Karwowski e Marras (2003), em seu estudo sobre análises ergonômicas, foram sugeridas soluções semelhantes, destacando que melhorias nos postos de trabalho ajudam na prevenção de doenças ocupacionais e promovem um bom desempenho dos trabalhadores. Esses resultados indicam que alternativas como as propostas neste estudo são adequadas para melhorar a postura dos trabalhadores.

4.2.4 IMPLEMENTAÇÃO DE PAUSAS E ROTINAS DE ALONGAMENTO

Além das medidas citadas, sugere-se a adoção de pausas regulares durante a jornada de trabalho, visto que pode ser uma medida eficaz para reduzir os efeitos negativos de posturas prolongadas e esforços repetitivos. Recomenda-se a implementação de um cronograma de pausas curtas, acompanhadas de rotinas de alongamento, para promover a circulação sanguínea e prevenir a fadiga muscular. Essas pausas devem ser acompanhadas de orientações sobre a realização de exercícios simples para alongamento, visando reduzir tensões musculares e melhorar o conforto dos operadores.

A realização de pausas durante o serviço é um dos eixos em que a ergonomia se torna aliada na saúde do trabalhador está no fato de considerar que o trabalho deve se ajustar ao trabalhador, não o contrário. Isto é possível mediante modificações no sentido de eliminar esforço excessivo e posturas incômodas, e reduzir movimentos repetitivos (Guimarães et.al., 2005).

4.2.5 TREINAMENTOS

Para garantir o uso correto do novo calço instalado no torno, que ajusta a altura do equipamento e melhora a postura dos operadores, propõe-se um treinamento específico com o objetivo de capacitar os operadores para ajustar corretamente a altura do torno, promovendo uma postura adequada que reduza a fadiga e previna lesões. Segundo Iida e Buarque (2016), treinamento no uso adequado de equipamentos e ajustes ergonômicos é fundamental para garantir a segurança e o conforto dos trabalhadores, prevenindo lesões e aumentando a eficiência no trabalho. Além disso, esses treinamentos contribuem para o bom desempenho e a redução de custos com afastamentos médicos (Araújo e Oliveira, 2006).

Após o treinamento, deverá ocorrer o acompanhamento contínuo para monitorar a eficácia da adaptação do torno e verificar a postura dos operadores. A empresa realizará pesquisas de feedback com os operadores para ficar atentos a novas melhorias.

CONCLUSÕES

A partir da análise ergonômica do posto de trabalho na empresa Promaq – Serviços e Instalações Industriais, foi possível identificar e propor intervenções significativas para melhorar as condições de trabalho, promovendo a saúde e segurança do operador. As ações recomendadas,

como a instalação de novos pontos de luz para adequar a luminosidade, a combinação de diferentes tipos de protetores auditivos e plug, e a adequação da altura do torno, demonstraram ser viáveis e eficazes para minimizar os riscos ergonômicos e prevenir lesões ocupacionais.

Além disso, a solução criativa e econômica de utilizar um calço de aço para ajustar a altura do torno destacou a importância de integrar os conhecimentos técnicos de engenharia e segurança do trabalho às necessidades ergonômicas do operador.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o **objetivo geral** de analisar a ergonomia do posto de trabalho no setor de usinagem da Promaq – Serviços e Instalações Industriais foi plenamente atingido. Da mesma forma, foram alcançados todos os **objetivos específicos** estabelecidos.

Por fim, a continuidade desse processo, com o monitoramento das condições de trabalho e a realização de novas análises após a implementação das melhorias, será essencial para garantir um ambiente de trabalho seguro, eficiente e de qualidade. Este estudo reforça a importância de abordagens ergonômicas para promover o bem-estar dos trabalhadores e a produtividade da empresa, estabelecendo um modelo a ser seguido em outros setores e funções.

Para estudos futuros, sugere-se o acompanhamento contínuo das medidas implementadas no local de trabalho, com o objetivo de verificar sua eficácia a longo prazo. A realização de avaliações periódicas permitirá observar possíveis mudanças nas condições ergonômicas, identificando novas áreas que possam exigir ajustes. Além disso, a coleta de *feedback* contínuo dos operadores sobre as melhorias implementadas será fundamental para garantir que as soluções adotadas atendam às suas necessidades e proporcionem um ambiente de trabalho ainda mais seguro e confortável. Este monitoramento constante contribuirá para a evolução das práticas ergonômicas na empresa e permitirá a adaptação contínua das intervenções às mudanças no ambiente de trabalho. Além disso, como complemento às melhorias ergonômicas propostas, recomenda-se a implementação da metodologia 5S, baseado nos princípios de seiri, seiton, seiso, seiketsu e shitsuke, contribuirá para a criação de um ambiente de trabalho mais organizado, limpo e eficiente. A aplicação dessa metodologia não apenas facilitará a identificação de riscos ergonômicos e a manutenção das melhorias implementadas, mas também promoverá a conscientização dos colaboradores sobre a importância da organização e da disciplina no dia a dia. Isso resultará em um ambiente mais seguro, com redução de desperdícios, aumento da produtividade e melhoria contínua das condições de trabalho.

REFERÊNCIAS

- Amarante, G. B., et al. (2020). Proposta de intervenção ergonômica em posto de trabalho utilizando Protocolo REBA e Checklist de Rodgers: Um estudo de caso em uma indústria de confecções, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Araújo, A. M. C., & Oliveira, E. M. de. (2006). Reestruturação produtiva e saúde no setor metalúrgico: a percepção das trabalhadoras. *Sociedade E Estado*, 21(1), 169–198.
- Assis, P. H. C. A. (2018). Redução da fadiga e melhora na capacidade de trabalho: Um estudo transversal realizado em uma empresa de móveis em Arapongas, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 8995: Iluminação de ambientes de trabalho. ABNT.
- Barcelos, F. B. L., et al. (2023). Uso da dupla proteção auditiva na atenuação do ruído ocupacional: uma revisão sistemática. *Distúrbio Comum*, 35(4), e63172.
- Bernardini, J. V. (2019). Proposta de implantação NR 12 em um torno mecânico universal. *Monografia*, Curso de Especialização em Ciências da Linguagem da Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC.
- Brand, J. M., Chaffin, D. B., Karwowski, W., & Marras, W. S. (2006). Postural and musculoskeletal disorders in industrial workers. *Journal of Occupational Health Psychology*, 12(4), 506-516.
- Brasil. (2018). *Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico*. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF. 87p.
- Brasil. (2019). *Segurados da Previdência Social: Afastamentos por LER/DORT*. Ministério da Previdência Social.
- Brasil. (2022). NR-17 – Ergonomia: Guia Trabalhista. Ministério do Trabalho e Emprego.
- Brasil. (s.d.). *Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17)*. Ministério do Trabalho e Emprego.
- Brasil. Serviço de Comunicação Social - SCS / Fundacentro. (2022).
- Ergolandia. (2025). *Ergolandia Software*.
- Faria, M. F. de., & Oliveira, F. N. de. (2019). *Mapeamento de riscos para análise de segurança de uma metalúrgica em Mossoró-RN* (Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019).
- Fontes, A. M., & Ortiz, L. A. (2019). Análise luminotécnica em áreas industriais: estudo de caso em uma fábrica de componentes automotivos. *Revista Brasileira de Engenharia e Tecnologia*, 11(2), 45-58.
- Franceschi, A. D. (2013). *Ergonomia*. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria.
- Gelinski, M. F. P. (2021). *Patologias de ombro relacionadas ao trabalho*. Curitiba, Brasil
- Gonçalves, C. G. D. O., & Iguti, A. M. (2006). Análise de programas de preservação da audição em quatro indústrias metalúrgicas de Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 22, 609-618.
- Grandjean, E. (1998). *Ergonomia: Projetando para as pessoas* (2ª ed.). São Paulo: Editora Blucher.
- Guimarães, R. M., et al. (2005). Fatores ergonômicos de risco e de proteção contra acidentes de trabalho: Um estudo caso-controlado. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 8(3), 282–294.

- Iida, I. (2005). *Ergonomia: projeto e produção* (2ª ed.). São Paulo: Edgard Blücher.
- Iida, I., & Buarque, L. (2016). *Ergonomia: projeto e produção*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). *Minério de ferro perde posição e petróleo bruto se torna o principal produto industrial do país*. Agência de Notícias IBGE.
- Karwowski, W., & Marras, W. S. (2003). *The occupational ergonomics handbook*. CRC Press.
- Kee, D. (2022). Comparação sistemática de OWAS, RULA e REBA com base em uma revisão da literatura. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública*, 19(1), 595.
- Lima, C. de O., Salazar, E. dos S., Santis, S. H. da S., & Nunes, S. F. (2023). Segurança e eficiência na Indústria 4.0: Processos de usinagem em torno CNC. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(10), 6495–6509.
- Maciel, L. L., et al. (2010). Fabricação e montagem de móveis: uma análise ergonômica da organização do trabalho. In *Anais da 10ª Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana*. Santiago.
- Maas, L., Malvestiti, R., Merino, E. A. D., & Gontijo, L. A. (2020). Norma Regulamentadora 17: considerações para sua revisão. *Human Factors in Design*, 9(17), 137–162.
- Micheletti Cremasco, M., Giustetto, A., Caffaro, F., Colantoni, A., Cavallo, E., & Grigolato, S. (2019). Avaliação de risco para distúrbios musculoesqueléticos na silvicultura: uma comparação entre RULA e REBA na alimentação manual de um picador de madeira. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública*, 16(5), 793.
- Mínayo, M. C. D. S., & Sanches, O. (1993). Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementaridade? *Cadernos de Saúde Pública*, 9, 237-248.
- Moura, H. M. de, Bemvenuti, R. H., & Franz, L. A. S. (2020). Produção brasileira em ergonomia no cenário internacional. *Revista Práxis*, 1, 31–56.
- Nascimento, A., & Rocha, R. (2018). Análise do trabalho em ergonomia: Modelos, métodos e ferramentas. In P. A. Cauchick Miguel et al. (Org.), *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações* (3ª ed.) Rio de Janeiro: Elsevier.
- Nascimento, J. K. de M. (2016). *Riscos ambientais causadores de acidentes de trabalho no setor produtivo de metalúrgicas em Presidente Médici* (Artigo de graduação). Fundação Universidade Federal de Rondônia, Cacoal, 2016.
- Oliveira, A. R., & Araújo, M. S. (2005). O setor metalúrgico e as doenças ocupacionais: Atividades repetitivas e posturas inadequadas. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 31(2), 45-56.
- Oliveira, B. R. G. de, & Murofuse, N. T. (2001). Acidentes de trabalho e doença ocupacional: Estudo sobre o conhecimento do trabalhador hospitalar dos riscos à saúde de seu trabalho. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 9(1), 109–115.
- Paula, E. A., & Amaral, R. M. M. F. (2019). Atuação interdisciplinar em grupos de qualidade de vida para pacientes com Lesões por esforços repetitivos/Distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho - LER/DORT. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, volume 44.

- Picoloto, D., & Silveira, E. da. (2008). Prevalência de sintomas osteomusculares e fatores associados em trabalhadores de uma indústria metalúrgica de Canoas - RS. *Ciência & Saúde Coletiva*, 13(2), 507–516.
- Pinheiro, A. K. da S., & França, M. B. A. (2006). *Ergonomia aplicada à anatomia e à fisiologia do trabalhador*. Goiânia: AB Editora Ltda.
- Salibra, T. (2021). *Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA* (12. ed.). LTr Editora.
- Santos, A. (2022). *Classificações do método OWAS*. Adaptado.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Empresas (SEBRAE). (2022, dezembro 6). *Como construir um ambiente de trabalho saudável?* SEBRAE.
- Silva, C. R. da, Silva, M. A. C. da, Silva, S. R. da, Souza, J. C. C. de, & Santos, S. D. dos. (2009). Ergonomics: A study of influence on productivity. *REGE Revista de Gestão*, 16(4), 61-75.
- Silva, W. R., Silva, A. B. B., Vasconcelos, C. M. T., Santos, L. G. A., Zuquiere, L. B., Simionato, A. R., & Siqueira, L. O. C. (2020). Percepção de vida dos trabalhadores da indústria metalúrgica na cidade de Sertãozinho, SP. *Lecturas Educación Física e Deportes*, 25(265).
- Souza, R. S. B., & Pinto, N. C. N. (2024). Análise do risco biomecânico com ferramentas ergonômicas em posto de injeção plástica no distrito industrial de Manaus, Manaus, Brasil.
- Tomazini, G. G. (2023). *Efeitos do uso de palmilhas ortopédicas e tapetes antifadiga nas queixas musculoesqueléticas de trabalhadores que realizam o trabalho na postura em pé* (Tese de doutorado). Faculdade de Medicina, University of São Paulo, São Paulo.
- Valentin, F. (2016). Análise ergonômica do trabalho no setor de metalurgia de uma indústria moveleira da Grande Florianópolis. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 8(16), 212-237.
- Villarouco, V., & Andreto, L. F. M. (2008). Avaliando desempenho de espaços de trabalho sob o enfoque da ergonomia do ambiente construído: An ergonomic assessment of the constructed environment. *Production*, 18(3), 523–539.
- Volponi, V. C. (2013). *Estudo sobre iluminação e banco de capacitores de uma típica indústria metalúrgica* (Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá).
- Wisner, A. (1987). *Por dentro do trabalho ergonomia: método e técnica*. FTD/Oboré.

ANEXO 1 – MÉTODO OWAS

a - Classificação das Posturas pela Combinação de Variáveis																							b - Classificação da Duração Postural pela Combinação de Variáveis																				
Dorso	Braços	1			2			3			4			5			6			7			DURAÇÃO MÁXIMA DAS POSTURAS																				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%												
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	DORSO	1. Dorso reto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		2. Dorso inclinado	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3						
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1		2	3. Dorso reto e torcido	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4						
																								4. Inclinado e torcido	1	2	2	3	3	3	3	4	4										
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	BRAÇOS	1. Dois braços para baixo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4		2. Um braço para cima	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3									
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4		3. Dois braços para cima	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3									
3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	PERNAS	1. Duas pernas retas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	1		2. Uma perna reta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2									
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1		3. Duas pernas flexionadas	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3									
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4. Uma perna flexionada	1	2	2	3	3	3	3	3	4	4										
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	5. Uma perna ajoelhada	1	2	2	3	3	3	3	3	4	4										
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	6. Deslocamento com as pernas	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3										
																							7. Duas pernas suspensas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2										

Figura 2 – classificação do método OWAS

Adaptação de: Santos (2022)

ANEXO 2 – QUESTIONÁRIO PREENCHIDO PELO OPERADOR, ABORDANDO ASPECTOS ERGONÔMICOS DO POSTO DE TRABALHO

Análise Ergonômica do Posto de Trabalho no Setor de Usinagem

*Este formulário faz parte de um estudo sobre **ergonomia no posto de trabalho no setor de usinagem** da Promaq - Serviços e Instalações Industriais. O objetivo é identificar possíveis desconfortos ou dificuldades enfrentadas durante a operação do torno e sugerir melhorias para tornar o ambiente de trabalho mais seguro, saudável e produtivo.*

*Sua participação é essencial para o sucesso deste estudo. As informações fornecidas serão tratadas com **sigilo** e utilizadas apenas para fins acadêmicos e de melhoria das condições de trabalho.*

Por favor, responda com atenção e sinceridade. Agradeço pela sua colaboração!

Tempo estimado para preenchimento: 5 a 10 minutos.

A altura do torno é adequada para sua postura durante o trabalho? *

- Sim
- Não

Durante a operação do torno, você sente desconforto ou dores em alguma região * do corpo?

- Sim
- Não

Você realiza pausas ao longo do trabalho para descansar ou se alongar? *

- Sim, regularmente
- Sim, mas raramente
- Não realizo pausas

Como você avalia as condições gerais do ambiente de trabalho no setor de usinagem? *

- Adequadas
- Pouco adequadas
- Inadequadas

Você considera o posto de trabalho ergonomicamente confortável para desempenhar suas atividades? *

- Sim
- Não
- Talvez

APÊNDICE A – QUADRO 1 - ILUMINAÇÃO E RUÍDO

DATA	ILUMINAÇÃO			RUÍDO		
	08:30	13:00	17:00	INICIO DA JORNADA	MEIO DA JORNADA	FIM DA JORNADA
05/11/2024	547	516	537	96	93	93
06/11/2024	536	512	540	89	91	92
07/11/2024	535	507	557	94	96	90
08/11/2024	533	509	537	92	94	89
09/11/2024	528	534	534	92	94	91
10/11/2024	548	517	555	94	89	91
11/11/2024	547	525	553	91	90	96
12/11/2024	538	539	542	92	96	91
13/11/2024	549	516	542	92	93	94
14/11/2024	551	540	556	90	90	96
15/11/2024	521	509	530	93	91	93
16/11/2024	524	547	533	93	95	96
17/11/2024	531	514	559	89	90	89
18/11/2024	528	523	528	91	95	90
19/11/2024	525	509	551	89	95	90
20/11/2024	558	514	540	89	96	91
21/11/2024	554	542	520	91	89	94
22/11/2024	546	539	548	90	91	94
23/11/2024	535	540	547	93	96	93
24/11/2024	555	528	546	96	89	93
25/11/2024	523	509	519	93	89	89
26/11/2024	523	511	540	95	91	94
27/11/2024	523	547	555	96	94	94
28/11/2024	550	519	547	90	92	96
29/11/2024	539	534	557	90	91	90
30/11/2024	559	543	547	89	93	93
01/12/2024	536	541	542	95	96	95
02/12/2024	538	510	547	98	96	89
03/12/2024	561	536	545	96	91	95
04/12/2024	528	524	529	91	91	93
05/12/2024	530	537	548	90	95	90
MÉDIA POR JORNADA	539	525	538	92	93	92
	MÉDIA GERAL			MÉDIA GERAL		
	536			92		

Fonte: Elaborado pelo autor

Otimização da Eficiência Operacional: Proposta de Aplicação do Indicador OEE em um Britador Primário de Mineradora

Leonardo Iankoski Souza da Silva (leonardoksk.95@gmail.com)

Orientador: Prof. Everton Vieira (everton.vieira@unespar.edu.br)

Resumo: A crescente competição e a necessidade de maior eficiência obrigam as empresas a adotar táticas para reduzir custos e otimizar a produção. No setor de mineração, a eficiência operacional é crucial, especialmente no processo de britagem. Este estudo teve como objetivo implementar os indicadores de OEE no setor de britagem de uma mineradora. Utilizando-se do método PDCA para melhor organização do processo de estudo, a pesquisa envolveu a coleta e análise de dados primários e secundários, observação direta, entrevistas e questionários com operadores e gestores da mineradora. A metodologia incluiu o uso de softwares como Excel® e Power BI® para análise estatística. O estudo foi realizado nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2024, encontrando, no período, uma média de 76% de disponibilidade, 79% de performance e 69% de qualidade, resultando em um OEE de 41%, valor abaixo do esperado. Diante desse resultado, foram indicadas melhorias, como a implementação da manutenção preditiva e preventiva com monitoramento em tempo real, o uso da metodologia FMEA para análise de falhas e a aplicação de sensores IoT para otimizar a tomada de decisão. Além disso, destacam-se o treinamento contínuo de operadores, com foco em manutenção autônoma, e a aplicação do ciclo PDCA para aprimoramento contínuo do OEE.

Palavras-chave: Overall Equipment Effectiveness; OEE; Eficiência Operacional; Britagem; Mineração; Gestão da Manutenção.

Optimization of Operational Efficiency: Proposal for the Application of the OEE Indicator in a Primary Crusher of a Mining Company

Abstract: Increasing competition and the need for greater efficiency compel companies to adopt strategies to reduce costs and optimize production. In the mining sector, operational efficiency is crucial, especially in the crushing process. This study aimed to implement OEE indicators in the crushing sector of a mining company. Using the PDCA method for better organization of the study process, the research involved the collection and analysis of primary and secondary data, direct observation, interviews, and questionnaires with operators and managers of the mining company. The methodology included the use of software such as Excel® and Power BI® for statistical analysis. The study was conducted from October to December 2024, finding an average availability of 76%, performance of 79%, and quality of 69%, resulting in an OEE of 41%, which is below the expected value. Based on these results, improvements were recommended, such as implementing predictive and preventive maintenance with real-time monitoring, using the FMEA methodology for failure analysis, and applying IoT sensors to optimize decision-making. Additionally, continuous operator training, focusing on autonomous maintenance, and the application of the PDCA cycle for continuous OEE improvement were emphasized.

Keywords: Overall Equipment Effectiveness; OEE; Operational Efficiency; Crushing; Mining; Maintenance Management.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade entre as empresas e a necessidade crescente de atender às demandas do mercado obrigam as organizações a se tornarem cada vez mais eficientes, exigindo uma série de táticas para diminuir seus custos e otimizar sua produção (GOMES, 2023). De acordo com Paris (2016), os mercados globalizados têm se movido em torno das perspectivas de negócios eficientes, e essa postura exige que os competidores busquem melhorar seus desempenhos. O destino de uma empresa depende das tomadas de decisão de seus gestores e, para que isso ocorra, são necessários dados que podem ser obtidos a partir de medidores de desempenho (ULLAH et al., 2023).

Uma métrica amplamente utilizada para medir o desempenho de equipamentos é o OEE (Overall Equipment Effectiveness), desenvolvido a partir dos conceitos da Manutenção Produtiva Total (TPM) (GRACIANI et al., 2023). Segundo Nakajima (1989), sua função é identificar perdas na utilização dos equipamentos e buscar a melhoria da produtividade. O OEE é especialmente útil em empresas de alto volume de produção e processamento contínuo, que priorizam o aumento da produtividade como fator de competição, tal como ocorre na indústria de mineração (RON; ROODA, 2005).

O setor de mineração demanda intensamente seus equipamentos para a extração de recursos minerais, expondo-os a ambientes insalubres e condições adversas, o que os obriga a operar frequentemente em seu limite máximo (JORGE, 2021). Manter um índice de produtividade elevado torna-se um desafio; para isso, a aplicação do OEE no setor de britagem de uma mineradora mostra-se crucial para identificar e mitigar perdas, otimizando a eficiência dos processos e aumentando a competitividade da empresa.

Apesar da ampla literatura sobre OEE, há uma lacuna significativa na aplicação prática desse indicador no setor de britagem em mineradoras. Muitos estudos têm foco em setores manufatureiros, como o de Pinto (2019), que propôs a implementação do OEE em uma empresa fabricante de ônibus. O autor destaca a necessidade de reduzir perdas de desempenho e melhorar a gestão da manutenção para aumentar a eficiência dos equipamentos. Leodoro et al. (2024) aplicaram o indicador em uma indústria de plásticos para construção, apontando que a implantação levou a melhorias significativas na eficiência operacional. Além disso, outras pesquisas abordam diferentes etapas do processo de mineração, como Borges et al. (2022), que implantou o OEE em perfuratrizes e identificou ineficiências nesses equipamentos. Esses fatores evidenciam a necessidade de estudos voltados especificamente para a britagem.

Assim, este trabalho busca preencher essa lacuna, fornecendo *insights* valiosos que possam auxiliar outras mineradoras na otimização de seus processos de britagem e, conseqüentemente, na

melhoria da eficiência global de suas operações.

Diante deste contexto, o objetivo geral deste estudo é realizar a implementação dos indicadores OEE no setor de britagem de uma mineradora. Como objetivos específicos, tem-se:

- i) Identificar no processo qual o equipamento crítico para implementar a medição de desempenho;
- ii) Medir a disponibilidade, o desempenho e a qualidade dos equipamentos de britagem resultando no OEE;
- iii) Analisar os resultados do OEE;
- iv) Propor melhorias no setor de britagem.

O estudo foi realizado por meio de uma análise detalhada dos processos e indicadores de desempenho da britagem, utilizando métodos quantitativos e qualitativos. Foram coletados dados primários e secundários para embasar a análise do desempenho operacional da britagem. A pesquisa inclui a observação direta dos processos, reuniões com operadores e gestores, e a análise de documentos e registros operacionais.

As contribuições práticas deste estudo incluem a possibilidade de implementação de melhores práticas identificadas na mineradora estudada, visando a otimização dos processos de britagem e aumento da eficiência operacional. Teoricamente, o estudo adiciona ao corpo de conhecimento existente uma análise detalhada e contextualizada da aplicação do OEE no setor de britagem, oferecendo uma base para futuras pesquisas e desenvolvimento de estratégias de melhoria contínua na indústria de mineração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A gestão da manutenção é essencial para assegurar a eficiência, confiabilidade e durabilidade dos ativos de uma empresa (SANTOS, 2023). Ela compreende a coordenação de atividades que visam manter os equipamentos e instalações em boas condições, prevenindo falhas e minimizando interrupções na produção (SOUZA, 2023).

Segundo Barbosa (2023), os tipos de manutenção incluem: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção detectiva. A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de falhas e pode ser dispendiosa, além de causar paradas inesperadas. A manutenção preventiva é executada em intervalos regulares, com base no tempo ou no uso dos equipamentos, para evitar falhas, envolvendo inspeções, ajustes, limpeza e substituições

programadas. A manutenção preditiva utiliza técnicas como análise de vibração, termografia e análise de óleo para monitorar a condição real dos equipamentos, identificando problemas antes que falhas significativas ocorram. Já a manutenção detectiva é voltada para a identificação de falhas ocultas, que não são percebidas durante a operação normal, geralmente por meio de testes e inspeções especializadas. Esses tipos de manutenções podem ser observados na Figura 1.

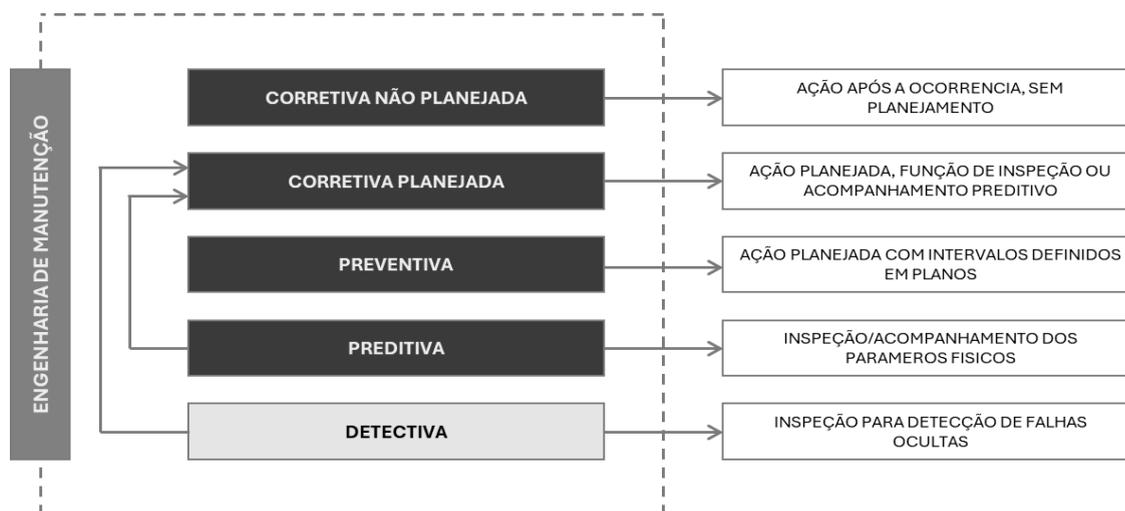


Figura 1 - Tipos de manutenção Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

De acordo com Pettersen (2022) e Gomes (2020), uma gestão eficaz da manutenção exige um planejamento e uma programação detalhados das atividades, com o suporte de *softwares* de gestão de manutenção CMMS (Computerized Maintenance Management System – Sistema de Gestão de Manutenção Computadorizado). Esses sistemas auxiliam na minimização dos impactos na produção e na organização eficiente das tarefas. A execução deve garantir que as atividades sejam realizadas conforme o planejado, contando com uma equipe capacitada e com a disponibilização de ferramentas e peças adequadas.

Segundo Finazzi et.al. (2024), os principais benefícios de uma gestão eficiente da manutenção incluem a redução de custos com reparos emergenciais e tempo de inatividade, maior confiabilidade dos equipamentos, melhoria da segurança no ambiente de trabalho, aumento da eficiência operacional e contribuição para a sustentabilidade, ao prolongar a vida útil dos equipamentos e evitar desperdícios. Além disso, a adoção de uma abordagem proativa e orientada por dados potencializa a eficiência operacional, reduz custos e garante a segurança e a confiabilidade das operações.

Gomes (2020) ressalta que a gestão da manutenção é essencial para qualquer organização que dependa de ativos físicos. Ao adotar uma abordagem proativa e baseada em dados, as empresas podem melhorar significativamente sua eficiência operacional, reduzir custos e garantir a segurança e a confiabilidade de suas operações.

1.1 OEE – OVERALL EQUIPMENTT EFFETIVENESS E AS SEIS PERDAS

O Índice de Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) é uma ferramenta essencial para identificar as perdas relacionadas aos equipamentos nos processos produtivos das empresas. A partir dessa identificação, torna-se possível implementar melhorias focadas nos pontos críticos do processo. O OEE surgiu com base nos conceitos da Manutenção Produtiva Total (TPM) e tem como principal função mensurar e analisar as principais perdas dos processos produtivos (BORGES et.al., 2022).

Durante o processo de manutenção, diversas perdas podem ocorrer, as quais estão apresentadas no Quadro 1.

Tipo de Perda	Descrição
Quebras do equipamento	Perdas por paradas não programadas dos equipamentos, geralmente ocorridas por problemas mecânicos e que requerem intervenção para restabelecer seu funcionamento.
Setup e regulagens	Perdas decorrentes das programações de produção e do mix de produtos que passam pelos equipamentos, restrição da capacidade produtiva devido a setups e ajustes.
Ociosidade e pequenas paradas	Pequenas paradas dos equipamentos que necessitam de pouco tempo para serem sanadas e restabelecidas pelos próprios operadores.
Redução e velocidade	Diminuição do ritmo de produção em relação à meta estipulada, resultando em queda nos volumes produzidos.
Problemas de não qualidade e retrabalhos	Equipamentos operam no tempo certo e velocidade ideal, mas produtos não atendem à qualidade esperada, resultando em descarte ou retrabalhos.
Queda no rendimento	Ocorrem durante processos de startup dos equipamentos, como lançamentos de novos produtos, retorno de férias, início de turnos ou semanas, levando a ajustes e aquecimento.

Quadro 1 - As seis grandes perdas Fonte: Elaborado pelo Autor

O indicador de OEE traduz para o nível do equipamento a diferença entre o ideal e o estado real, fazendo uma síntese das seis grandes perdas apresentadas. Segundo Paris et.al (2022), através do produto de três outros índices: o índice de disponibilidade, o índice de performance e o índice de qualidade. Assim representado pela equação:

$$OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade$$

A avaliação desses índices permite aos gestores tomarem decisões para melhorar os seus processos produtivos, reduzindo perdas ou aumentando a produtividade.

Índice de disponibilidade (ID): É a comparação entre o tempo de operação programada (já descontadas paradas previstas como, por exemplo, manutenções programadas e

finais de semana) e o tempo de operação real;

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Horas efetivas de produção}}{\text{Horas programadas}} * 100$$

Índice de performance (IP): É a comparação entre a produção realizada e a produção que deveria ter sido feita no mesmo tempo (baseada nas características técnicas do equipamento e nas características de projeto de produto do componente que está em manufatura).

$$\text{Performance} = \frac{\text{Produção real}}{\text{Capacidade nominal}} * 100$$

Índice de qualidade (IQ): É a comparação entre o número total de produtos feitos e o número que realmente esteja dentro das especificações. O monitoramento das perdas referentes a qualidade implica controle/inspeção dos produtos e gera desdobramentos que vão além do equipamento está funcionando corretamente, mas também a questões como qualidade da matéria-prima e grau de retrabalhos a ser gerado ou custo do desperdício.

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produção conforme}}{\text{Capacidade total}} * 100$$

Segundo Gouveia (2022), o OEE é uma medição que procura revelar os custos escondidos na empresa. Ainda aponta para o fato de que antes do advento deste indicador, somente a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, o que resultava no superdimensionamento de capacidade.

Segundo Paris et. al. (2022), a meta ideal para o OEE dos equipamentos é 85%. Para atingir esse valor, os índices individuais devem ser de 90% para disponibilidade, 95% para performance e 99% para qualidade, na Figura 2 é possível observar a classificação do OEE para alguns resultados obtidos.

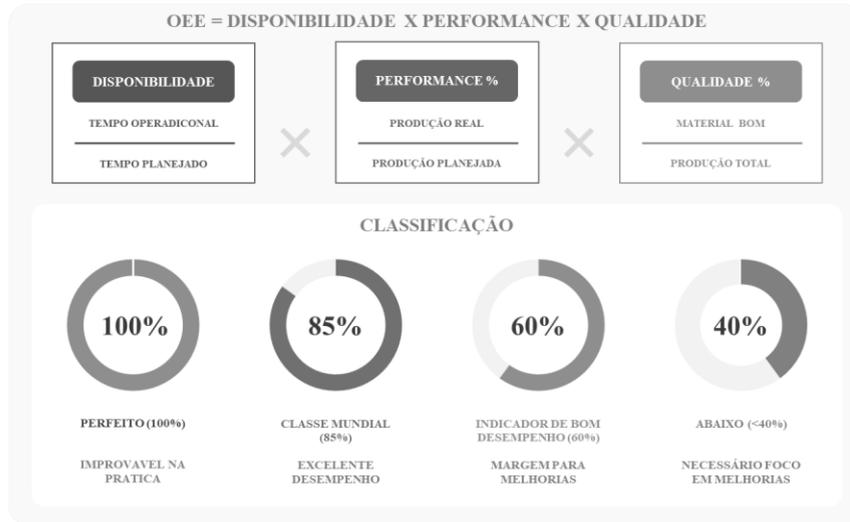


Figura 2 - Fórmula do OEE e classificações de resultados

Fonte: Elaborado pelo Autor

Loureiro (2024) afirma que a análise do OEE em um grupo de máquinas dentro de uma linha de produção ou célula de manufatura possibilita a identificação do recurso que se torna o gargalo, permitindo direcionar os esforços para melhorar esse recurso específico.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 ESCOPO DO ESTUDO

O estudo foi conduzido em uma mineradora situada no litoral do Paraná, cuja principal atividade é a cominuição de pedras. Com mais de 25 anos de atuação na região, a mineradora também oferece serviços como terraplanagem, drenagem, demolições e locação de uma ampla frota de caminhões e máquinas. O estudo concentrou-se no processo de cominuição de pedras, com foco nos setores de britagem e rebitagem, onde o autor realizou seu estágio.

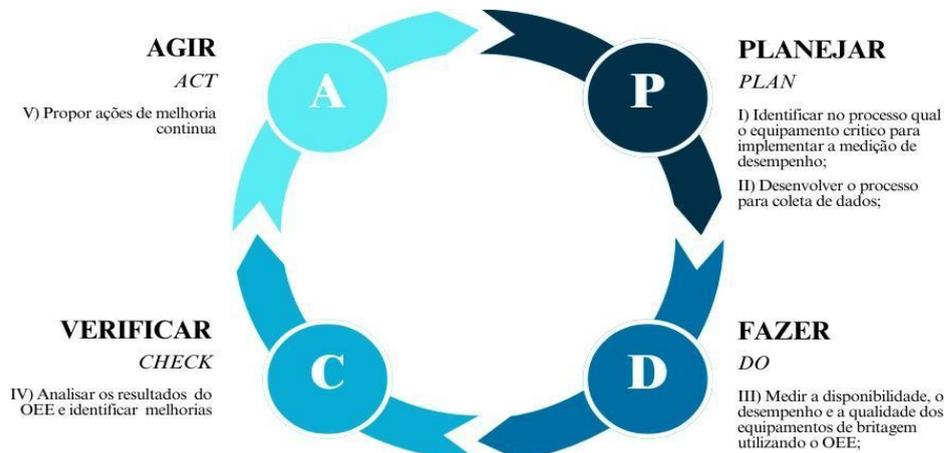
O presente estudo adota a abordagem de estudo de caso, conforme definido por Yin (2023), que é um método de investigação empírica que inclui técnicas de coleta de dados, planejamento para essas coletas e análise dos dados obtidos.

Explicar resumidamente os processos de britagem: extração, transporte, britagem primária, britagem secundária...

Para a realização do estudo em questão, propôs-se a utilização do método de análise e solução de problemas PDCA, proposto por Werkema (2012). Este método envolve a observação e análise dos processos, a implementação das ações necessárias, a verificação dos procedimentos adotados e a sua padronização subsequente. Os passos do PDCA são

apresentados na Figura 3.

Figura 3- Ciclo PDCA proposto na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de observação direta e análise de dados históricos. A observação direta consiste no monitoramento das operações diárias no setor de britagem, com o intuito de identificar e registrar paradas, ajustes e problemas de qualidade em tempo real. A análise de dados históricos envolve a revisão de registros de manutenção, relatórios de produção e dados de qualidade para obter uma visão detalhada e histórica da performance dos equipamentos.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados coletados foram tratados por meio de tabulação e quantificação, focando em disponibilidade, performance e qualidade. Para o registro e análise dos dados, foram utilizados os softwares *Excel*[®], empregados para os registros e cálculos, e *Power BI*[®], para análise e apresentação dos resultados. Para a realização dos cálculos, serão aplicadas as fórmulas do OEE apresentadas no referencial teórico, ID para Índice de Disponibilidade, IP para Índice de Performance e IQ para Índice de Qualidade.

3.4 PLAN (PLANEJAR) - IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO CRÍTICO

Seguindo o modelo do PDCA, na etapa Plan foi feita uma reunião na presença de diretores e gestores, onde foi feita uma análise de todo o processo de beneficiamento de pedras, desde a detonação até o material pronto, em busca da identificação de qual o processo/equipamento crítico que mais afeta a produção. Na Figura 4 está o fluxograma do processo de beneficiamento:

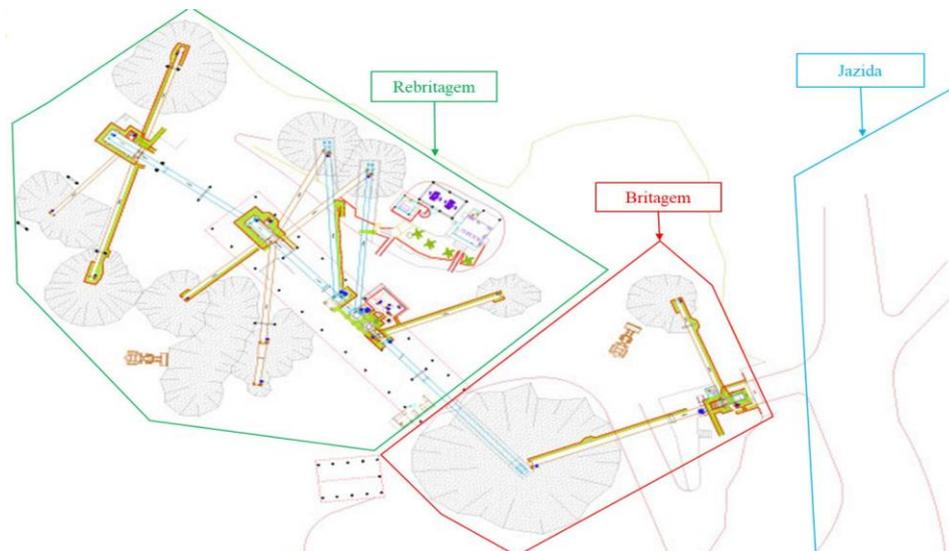


Figura 4 - Fluxograma do processo de beneficiamento

Fonte: Elaborado pelo autor

O processo de beneficiamento acontece conforme apresentado na Figura 4, iniciando na jazida com a análise do local de detonação, que é conduzida de acordo com um plano elaborado pelo gerente da jazida e pela diretoria. Essa análise é essencial para garantir a eficácia e segurança das explosões controladas que fragmentam as rochas. Após a detonação, as pedras fragmentadas são carregadas por pás carregadeiras e caminhões. Esses caminhões têm capacidades variadas, alternando entre 22, 20 e 16 metros cúbicos. Eles transportam o material da jazida até o britador primário, onde o processo de britagem começa.

O sistema de britagem e rebitagem possui 5 tipos de equipamentos principais, conforme Quadro 2.

Equipamento	Descrição
Britadores	Realizam a fragmentação inicial das pedras, reduzindo-as a tamanhos manejáveis para as etapas subsequentes.
Transportadores de Correias	Movimentam o material triturado entre os diferentes estágios do processo de britagem.
Alimentadoras Vibratórias	Regulam a alimentação do material nos britadores, garantindo um fluxo contínuo homogêneo; Realizam a separação granulométrica preliminar por meio de um sistema de grelha, segregando o material com granulometria adequada dos materiais inadequados, como terra, água, lama e outros resíduos.
Calhas Vibratórias	Facilitam o transporte do material entre os equipamentos, utilizando vibrações controladas para evitar obstruções.
Peneiras Vibratórias	Classificam o material triturado por tamanho, separando-o em diferentes categorias conforme a necessidade do processo.

Quadro 2 - Tipos de equipamentos da mineradora

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após análise de todo o processo, o britador primário foi identificado pelos gestores e diretores como o equipamento crítico no processo de beneficiamento, pois atua como a etapa inicial na redução do material bruto, determinando o ritmo de toda a planta. Sua eficiência tem impacto direto na produtividade e na qualidade do material processado, já que é responsável por estabelecer a taxa de alimentação e garantir a adequação granulométrica necessária para as etapas subsequentes. Caso o britador apresente falhas, paradas ou esteja desregulado, toda a produção é comprometida, resultando em redução da eficiência operacional.

O britador primário trata-se de um britador de mandíbulas modelo JC12080, conforme Figura 5. De acordo com o manual da máquina disponibilizada pelo fabricante Furlan (2022), sua capacidade máxima de produção varia de acordo com a dureza do material a ser processado e a granulometria percentual de material passante desejado, com esses fatores regula-se a abertura de saída do material chegando capacidade máxima ideal de produção para aquele sistema. Sendo assim, na mineradora em questão, a capacidade máxima ideal considerada pelos diretores e gestores é de aproximadamente 300 toneladas por hora.



Figura 5- Britador Furlan JC12080

Fonte: Furlan (2022)

O britador primário está localizado no setor de britagem da mineradora, que além do próprio britador possui: uma alimentadora vibratória, que é projetada para receber diretamente o material fragmentado descarregado pelos caminhões, segregar o material e alimentar o britador; duas correias transportadoras, a primeira para direcionar material inadequado para bica corrida e a segunda para transportar o material britado para uma pilha de armazenamento intermediária, conhecida como pulmão de pedra rachão. Essa pilha serve como estoque temporário, garantindo o abastecimento contínuo das etapas seguintes do processo de beneficiamento. Na Figura 6 é possível observar o processo do britador primário.

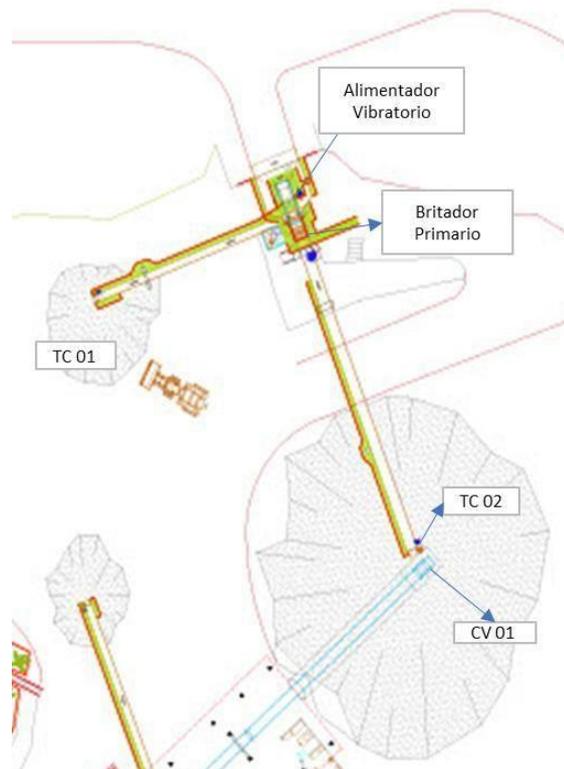


Figura 6- Processo do britador primário

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após essa etapa, o material é levado da britagem para a rebitagem por meio de uma correia transportadora. Nessa correia transportadora esta instalada uma balança que mede quanto material passa para o processo de rebitagem. Essa balança é utilizada para nos dizer quanto de material conforme foi produzido pelo britador primário.

Na britagem está localizado mais dois britadores cônicos e um britador de impacto. Além dos britadores, a rebitagem inclui onze transportadores de correia de 20”, 24” e 30”, três peneiras vibratórias e três calhas vibratórias. Esses equipamentos adicionais garantem a redução contínua do tamanho das pedras, adequando-as às especificações necessárias para o processo de beneficiamento subsequente.

O desempenho do britador primário é crucial para a eficiência de todo o processo de beneficiamento na empresa de mineração. Uma coordenação eficaz entre a análise do local de detonação, o carregamento e o transporte das rochas, bem como a operação dos diversos equipamentos de britagem, são essenciais para otimizar a produção e garantir a qualidade do produto. A escolha do britador primário como foco deste estudo é justificada pela sua influência direta na capacidade produtiva e na eficiência operacional da empresa.

Com uma operação eficiente do britador primário, é possível garantir um fluxo contínuo de material, minimizando paradas e maximizando a produtividade. Além disso, a qualidade do

material processado no britador primário afeta diretamente as etapas subsequentes de rebitagem e classificação, tornando-o um componente vital para a operação de mineração como um todo.

3.5 PLAN (PLANEJAR) - DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE COLETA DE DADOS

Para realizar o cálculo do OEE, foi necessário definir previamente os dados essenciais para viabilizar os cálculos. O estudo de indicadores de desempenho na britagem envolveu a análise das três categorias principais: disponibilidade, performance e qualidade, conforme Quadro 3.

Indicador	Dados Necessários	Descrição
Disponibilidade	Horas Efetivas de Operação (HE)	Representa o tempo efetivo em que o britador esteve operando, medido pelo horímetro da alimentadora. Esta métrica reflete com precisão o tempo de operação real.
	Horas Programadas (HP)	Corresponde ao total de horas previstas para a operação diária do britador, conforme definido pelo gestor da britagem. O tempo de manutenções programadas é subtraído.
Performance	Produção Real (PR)	Refere-se à quantidade de material processado por hora pelo britador primário, calculada dividindo o total de toneladas de material basculado pelo tempo de operação real do equipamento.
	Capacidade Nominal (CN)	Representa a capacidade teórica de produção do britador, estipulada pelos gestores. Neste estudo, a meta de 300 toneladas por hora é considerada como a referência ideal.
Qualidade	Produção Conforme (PC)	Mede a quantidade de material processado que atende aos padrões de qualidade estabelecidos. Este controle é feito por meio da pesagem na balança no início da rebitagem.
	Produção Total (PT)	Refere-se ao volume total de material basculado pelos caminhões durante o período analisado, sem considerar a conformidade com os padrões de qualidade.

Quadro 3 - Indicadores de desempenho na britagem Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a definição dos dados necessários, foram implementadas as ações para garantir a coleta e análise precisas, e feitas planilhas impressas para registrar manualmente os dados operacionais durante as atividades no britador conforme imagem 1 e 2, assegurando que todas as informações fossem coletadas de maneira padronizada. Para garantir a qualidade da

coleta, realizou-se um treinamento com os operadores, capacitando-os a preencher corretamente as planilhas e a entender a importância dos dados para os cálculos dos indicadores de desempenho. Além disso, foram desenvolvidas planilhas eletrônicas no Excel® para automatizar os cálculos dos indicadores de desempenho.

MISSÃO NOVA PRATA
" FAZER O MEU MELHOR, NAS CONDIÇÕES QUE EU TENHO, ENQUANTO NÃO TENHO CONDIÇÕES MELHORES... PARA FAZER MELHOR AINDA..."

OPERADOR : DJALMA BORGES MARROEIRO I MDL

DATA	HORA I	HORA II	METRO	H/M	CARGA	M/D
06 01 25	08:00	18:00	22m	1,79		
			22m			
			20m 5		☐☐☐☐☐ 25	500 M
		10:00	20m 4		☐☐☐☐☐ 21	420 M
07 01 25	07:50	18:00	22m			840 M/D
			22m			
			20m 4		☐☐☐☐☐☐ 27	540 M
		10:00	20m 5		☐☐☐☐☐ 25	500 M
08 01 25	08:11	27:14	22m			920 M/D
			22m			
			20m 4		☐☐☐☐☐ 23	420 M
			20m 5		☐☐☐☐☐ 19	380 M
09 01 25	F080		22m		F080	780 M/D
			22m			
			20m			
10 01 25	05:00	18:00	22m			
			22m			
			20m 5		☐☐☐☐☐☐ 29	580 M
		12:00	20m 4		☐☐☐☐☐☐☐ 33	660 M
11 01 25	08:00	12:00	22m			1160 M/D
			22m			
		04:00	20m 5		☐☐☐☐☐ 19	380 M
			20m 4	2,16	☐☐☐☐☐ 17	340 M
	H/OP 38:00	H/M00. 37:00			T/C 2	T/M 4720³ M.
	CARGA 236	DIA 05	HORA 37:00	H/D 7,4	C/D 47	C/H 63
	T. METROS 4,720³		T. TONELADAS 7,080			
	PGUÁ NOVA PRATA		PEDRO URBANO			

Imagem 1 - Planilha de apontamentos 1 Fonte: Elaborada pelo autor

DATA	JC12080	1200XP	48FC	ORE SIZER	BALANÇA
01/fev					
02/fev					
03/fev	22453	17020	01095	12452	94461
04/fev	22463	17030	01102	12463	95633
05/fev	22464	17033	01103	12465	95785
06/fev	22475	17041	01108	12476	96607
07/fev	22483	17049	01113	12485	97544
08/fev	22493	17055	01118	12494	98253
09/fev					
10/fev	22496	17061	01123	12499	98882
11/fev	22508	17072	01134	12511	100226
12/fev	22519	17082	01145	12521	101486
13/fev	22531	17092	01156	12532	102760
14/fev	22541	17102	01166	12542	103962
15/fev	22553	17103 17108	117194	12549	104868
16/fev					

Imagem 2 - Planilha de apontamentos 2 Fonte: Elaborada pelo autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DO (EXECUTAR) – MEDIÇÃO DA DISPONIBILIDADE, PERFORMANCE, QUALIDADE E OEE

A coleta de dados para criação dos indicadores compreendeu o período de 1 de outubro a 31 de dezembro de 2024, onde foram coletados: tempo de operação, tempo de operação programado, produção real t/h, produção planejada t/h, produção conforme e produção total. Estes dados podem ser observados na Tabela 1.

Indicadores de Produção	Outubro	Novembro	Dezembro
Tempo de Operação Real	216	129	151
Tempo de Operação Programado	274	181	198
Produção Real t/h	237,10	240,91	228,73
Produção Planejada t/h	300	300	300
Produção Conforme	39.638	18.367	22.981
Produção Total	51213	31078	34538

Tabela 1 - Dados coletados entre outubro e dezembro de 2024 Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Tabela 2, estão os resultados dos cálculos dos indicadores OEE para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2024:

Indicadores OEE	Outubro	Novembro	Dezembro
Disponibilidade	79%	71%	76%
Performance	79%	80%	76%
Qualidade	77%	59%	67%
OEE	48%	34%	39%

Tabela 2 – Resultados indicadores nos meses analisados Fonte: Elaborado pelo autor

Para uma melhor visualização dos resultados pelos diretores e gestores foi feito um dashboard em power bi, que pode ser visualizado nas figuras 7 e 8.

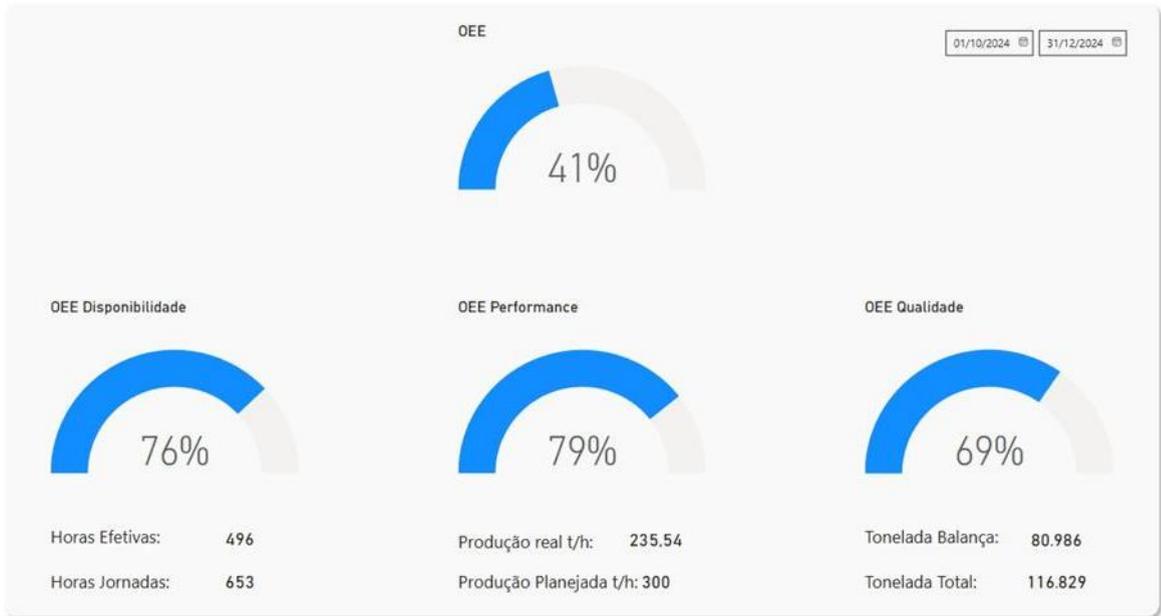


Figura 7 – Dashboard OEE
 Fonte: Elaborado pelo autor

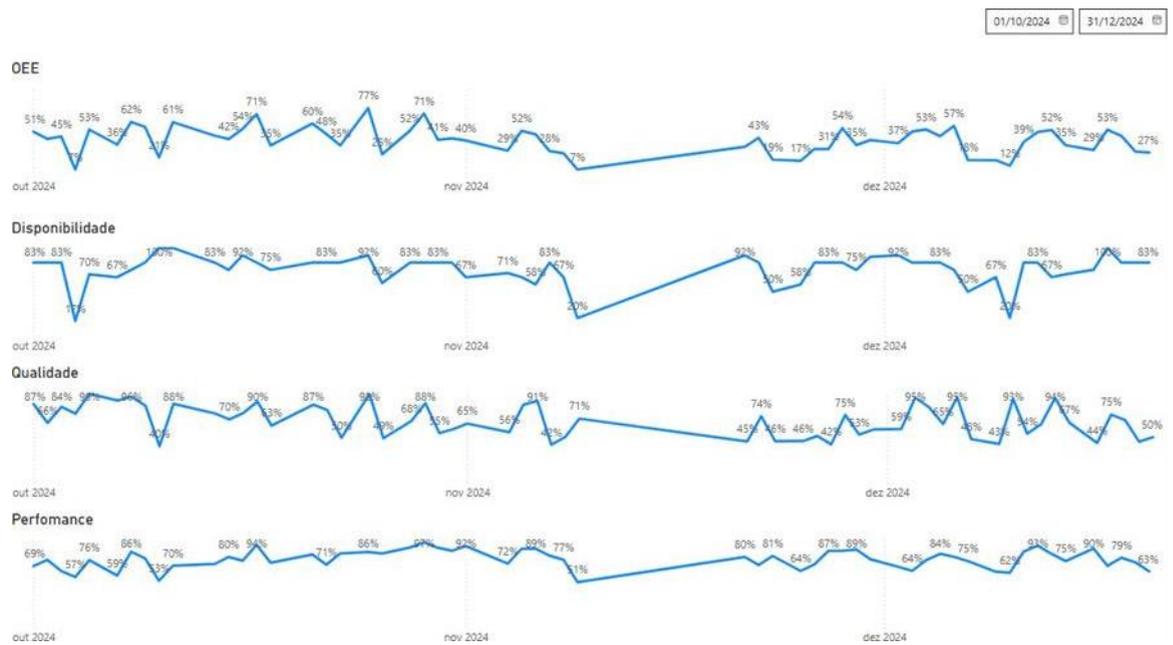


Figura 8 – Dashboard OEE ao longo do tempo
 Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 CHECK (VERIFICAR) – ANÁLISE DOS RESULTADOS E IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS

A avaliação dos indicadores apresentados na Tabela 2 evidencia que a Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) encontra-se significativamente abaixo dos padrões de classe mundial. Ao comparar os resultados obtidos com os *benchmarks* globais, identificam-se lacunas relevantes que precisam ser abordadas para a melhoria da eficiência operacional.

De acordo com o *benchmarking* mundial, a disponibilidade deve ser igual ou superior a 90%. No entanto, os valores obtidos foram 79% em outubro, 71% em novembro e 76% em dezembro, evidenciando uma performance abaixo do esperado. A maior queda ocorreu em novembro, o que pode indicar um excesso de paradas não programadas, impactando diretamente a operação.

O índice de performance considerado de classe mundial deve ser igual ou superior a 95%, enquanto os valores obtidos foram 79%, 80% e 76% nos meses analisados. Esses resultados indicam ineficiências no ritmo operacional, possivelmente causadas por variações na taxa de alimentação do britador, perdas por baixa eficiência operacional ou mudanças na composição do material processado.

O padrão mundial estabelece que a qualidade deve atingir um índice igual ou superior a 99,9%, entretanto, os valores registrados foram 77% em outubro, 59% em novembro e 67% em dezembro, sendo o pior desempenho entre os três pilares do OEE. A queda mais expressiva ocorreu em novembro, representando uma redução de 18 pontos percentuais. Esse desempenho sugere um elevado índice de material não conforme.

O OEE de classe mundial é de aproximadamente 85%, enquanto os valores obtidos foram 48% em outubro, 34% em novembro e 39% em dezembro, evidenciando um desempenho muito inferior ao esperado. A queda mais expressiva ocorreu em novembro, refletindo baixa disponibilidade e qualidade insatisfatória no mês. Embora tenha havido uma leve recuperação em dezembro, os índices ainda permanecem distantes do patamar ideal.

4.3 ACT (AGIR) – PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA CONTÍNUA

A partir da análise dos dados coletados, foram propostas ações de melhoria contínua com o objetivo de elevar os índices de desempenho e aproximá-los dos padrões de classe mundial:

4.3.1 Manutenção preditiva e preventiva: Implementação de técnicas de monitoramento em tempo real. Segundo Pinto (2021), essa abordagem antecipa possíveis falhas, reduzindo os tempos de inatividade e aumentando a confiabilidade dos equipamentos.

4.3.2 Análise de Falhas (FMEA): A aplicação da metodologia FMEA foi sugerida, pois, segundo Silva e Casagrande (2022), ela permite identificar as principais causas de indisponibilidade, proporcionando uma visão detalhada das falhas e possibilitando a implementação de ações corretivas eficazes.

4.3.3 Monitoramento em tempo real: A utilização de sensores IoT para o acompanhamento contínuo da condição dos equipamentos possibilita uma tomada de decisão mais ágil e precisa (PINTO, 2021).

4.3.4 Treinamento de operadores: A capacitação contínua dos operadores é essencial para garantir que compreendam a importância da eficiência operacional e saibam como otimizar o desempenho dos equipamentos. A integração da Manutenção Autônoma, com a participação ativa dos operadores nas inspeções diárias e na execução de intervenções de menor complexidade, contribui para a detecção precoce de anomalias e a prevenção de falhas, garantindo maior disponibilidade e confiabilidade (NASCIMENTO, 2019).

4.3.5 Continuação da aplicação do Ciclo PDCA: Segundo Oliveira (2022), a implementação de um plano estruturado de melhoria contínua, com revisões periódicas dos resultados e ajustes estratégicos, assegura o aprimoramento constante do OEE.

Essas ações propostas visam a otimização contínua dos processos e o alcance de padrões de excelência operacional, alinhando a empresa aos requisitos de classe mundial em termos de disponibilidade, performance, qualidade e eficiência geral dos equipamentos (OEE).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo alcançou seu objetivo principal de implantação do sistema OEE, assim como seus objetivos específicos, que incluíram a identificação do equipamento crítico no processo, a medição de seu desempenho, o desenvolvimento de um processo para a coleta

de dados, a análise da disponibilidade, performance e qualidade, e, por fim, a proposição de melhorias.

Dessa forma, identificou-se que o equipamento crítico no processo é o britador primário e, após a aplicação do OEE, constatou-se a necessidade de melhorias contínuas. Além das implicações teóricas para pesquisas futuras, o estudo trouxe contribuições práticas para profissionais da indústria, sendo incorporado ao dia a dia da empresa. Como resultado, a organização obteve um maior controle sobre a produção e uma melhor assertividade nas tomadas de decisão, reduzindo seus custos operacionais.

A principal limitação do estudo foi a falta de informações detalhadas sobre os fatores que influenciaram os resultados dos indicadores, tais como falhas nos equipamentos, condições climáticas adversas e carência de treinamentos. Assim, sugere-se a ampliação do monitoramento desses aspectos no processo de implementação do OEE, assim como recomendação para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, H. S. (2023) Proposta de implementação do programa de manutenção produtiva total (TPM): um estudo no laboratório do projeto Baja da UFRJ Campus Macaé. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Instituto Politécnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé.
- Borges, M. C. G. ., Barbosa, L. C. M. ., Pereira, N. F. S., & Rosa, G. M. (2022). Implementation of the global equipment efficiency indicator - OEE in large drills in a mining company. *Research, Society and Development*, 11(7), e40311730092.
- Costa, G. R. (2023). Manutenção e confiabilidade: um modelo para análise de dados de performance em caminhões de mineração utilizando o Power BI. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas, PA.
- De Paris, A., Bazzanello, V. L., Braga, L. M., Noval, C. de M., Kolassa, S. M., & Brambatti, M. (2022). Desempenho em células de trabalho. *RACI - Revista Administração E Contábeis IDEAU*, 1(01).
- Finazzi, E. A. de A., Júnior, J. M. R., Junqueira, A., & Neto, J. M. F. A. (2024). A implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM) em organizações de equipamentos agrícolas: Estratégias, desafios e impactos a eficiência operacional. *Fatec de Itapira "Ogari de Castro Pacheco" Prospectus*, 6(1), 571-609.
- Gomes, E. D. (2020). Gestão da manutenção: a importância da manutenção e processos industriais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - União Metropolitana de Educação e Cultura, Lauro de Freitas.
- Gomes, M. D. S., & Nunes, W. F. (2023). Impactos da implantação do sistema datasul no setor de manutenção e produção: estudo de caso em uma empresa metalúrgica no Estado do Ceará (Doctoral dissertation).

- Gouveia, V. R.. Análise da contribuição dos índices da metodologia Overall Equipment Effectiveness (OEE) no processo de injeção em uma indústria de termoplástico. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção Mecânica) - UFPB/CT, Campus I, João Pessoa – PB, 2022.
- Graciani, A. P. ., Andrade, A. L., Fernandes, A. de C., Ferreira, A. M., & Batista Perini, S. J. (2023). Implementation of OEE in dental implants machining machine. *Revista: E-TECH: Tecnologias Para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838, 16(1)*.
- Jorge, P. L. C. (2021). Evolução tecnológica dos mineradores contínuos na lavra subterrânea (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Kardec, A., Nascif, J. (2009). Manutenção: função estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark. 384p.
- Loureiro, A. L. (2024). Mapeamento do fluxo de valor na manutenção do motor de um helicóptero Leonardo AW139. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Nakajima, S. (1989). Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda..
- Nascimento, B. (2019). Implantação da OEE em uma indústria de envase de bebidas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Oliveira, E. A., Vale, I. O., Rodrigues, L. B., & SOUSA, T. R.(2024). Monitoramento industrial usando IoT. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial) - Faculdade de Tecnologia "Adib Moisés Dib", São Bernardo do Campo.
- Oliveira, L. R. de; Silva, V. de S. da; & Poker Junior, J. H. (2022). Gestão da Qualidade: uma aplicação do ciclo PDCA para melhoria em uma usina de laticínios. *South American Development Society Journal, v. 8, n. 22, p. 239*.
- Paris, A. d. (2016). Overall Equipment Effectiveness - OEE: necessário, mas não suficiente: uma análise integrando o OEE e a Data Envelopment Analysis – DEA.
- Pettersen, Y. C. (2022). Proposta de melhoria na integração de sistemas computadorizados de gerenciamento da manutenção em um departamento de equipamentos estáticos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Fluminense, Rio das Ostras, RJ.
- Pinto, M. C. (2021). Sistema de manutenção preditiva de falhas em válvulas em um processo industrial utilizando inteligência artificial. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- Pinto, P. A. C. (2019). Proposta de implementação da metodologia TPM e cálculo do OEE na empresa CaetanoBus (Master's thesis, Instituto Politecnico do Porto (Portugal)).

Ribeiro, G. M., Alvres, L. J.; Ferro, F. A.; Pereira, A. S.; Scalcon, C. G. 2010. (Mapeamento do processo de descobertura de carvão mineral em uma companhia de mineração localizada na região sul do país. *Salvador: Enegep*.

Santos, P. H. B. dos, Fernandes, L. H. dos S. ., & SACHETTO, J. P. (2023). Manutenção preditiva em colhedores de cana: extensão do período de troca de óleo com base em análise laboratorial. *Ciência & Tecnologia*, 15(1), e1513.

Silva, I. M.; Casagrande, D. J. (2022). A utilização das ferramentas da qualidade Diagrama de Ishikawa e FMEA-Análise de Modos e Efeitos de Falhas nas empresas. *Revista Interface Tecnológica*, v. 19, n. 2, p. 961–973.

Souza, F. O. de. (2017) Implantação da metodologia manutenção produtiva total para o aumento da eficiência dos setores de manutenção e produção de uma mineradora no Ceará. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Takahashi, Y., Osada, T. (2000) *Manutenção Produtiva Total*. São Paulo: Instituto IMAN, 2000.

Ullah. M. R., Molla, S., Iqtiaar S., Anamika & Abedin, M. (2023). Optimizing Performance: A Deep Dive into Overall Equipment Effectiveness (OEE) for Operational Excellence. *Journal of Industrial Mechanics*. 8. 26-40.

Werkema, C. (2012). Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas. *GEN Atlas*, 1ª edição, 208 p.

YIN, R. K. (2023) *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. 7. ed. Thousand Oaks: Sage Publications.

Aplicação de um Modelo de Gerenciamento de Riscos Ambientais em uma Secretaria de Infraestrutura Municipal do Paraná

João Vitor Correa Cordeiro (jvitorccordeiro@gmail.com)

Karen Godoi van Mierlo (karen.mierlo@unespar.edu.br)

Resumo: Este estudo aborda a gestão de riscos ambientais na Secretaria de Infraestrutura Municipal no estado do Paraná, destacando os desafios relacionados à segurança dos trabalhadores. A ausência de um sistema estruturado para identificar e mitigar riscos representa uma ameaça à saúde dos funcionários e ao meio ambiente. O objetivo do trabalho foi aplicar um modelo de gerenciamento de riscos ambientais para identificar, priorizar e tratar esses riscos. A metodologia incluiu a construção de um mapa de riscos ambientais, a aplicação da matriz GUT para priorização e a implementação do 5W2H para controle das ações. Os resultados apontaram áreas críticas, como o armazenamento inadequado de pneus, o acúmulo de entulhos ao redor do estabelecimento, a falta de EPIs para os trabalhadores e a postura inadequada durante as atividades, que demandam medidas urgentes. Foram desenvolvidas ações corretivas, incluindo a organização do armazenamento, a disponibilização de EPIs e a troca de mobiliário ergonômico. A pesquisa demonstrou que, apesar dos avanços alcançados, a Secretaria ainda necessita de um planejamento estruturado, exigindo esforços contínuos para garantir a segurança dos trabalhadores e minimizar impactos ambientais. O estudo reforça a importância da implementação de estratégias eficazes para reduzir riscos e melhorar a sustentabilidade das operações municipais.

Palavras-chave: Segurança do Trabalho; Gerenciamento de Riscos; Matriz GUT; 5W2H.

Application of an Environmental Risk Management Model in a Municipal Infrastructure Department in Paraná

Abstract: This study addresses environmental risk management at the Municipal Infrastructure Department in the state of Paraná, highlighting the challenges related to worker safety. The absence of a structured system to identify and mitigate risks poses a threat to employees' health and the environment. The objective of this study was to apply an environmental risk management model to identify, prioritize, and address these risks. The methodology included the development of an environmental risk map, the application of the GUT matrix for prioritization, and the implementation of the 5W2H method for action control. The results identified critical areas, such as inadequate tire storage, accumulation of debris around the facility, lack of personal protective equipment (PPE) for workers, and poor posture during activities, all of which require urgent measures. Corrective actions were developed, including storage organization, PPE provision, and the replacement of ergonomic furniture. The research demonstrated that, despite progress, the department still lacks a structured plan, requiring ongoing efforts to ensure worker safety and minimize environmental impacts. This study reinforces the importance of implementing effective strategies to reduce risks and improve the sustainability of municipal operations.

Keywords: Occupational Safety; Risk Management; GUT Matrix; 5W2H.

1. INTRODUÇÃO

As instâncias públicas, como as prefeituras, desempenham um papel essencial na organização e no funcionamento das cidades (FRYZMAN, 2015). De acordo com Branco (2011), a prefeitura é a principal instituição responsável pela gestão municipal, encarregada de planejar e executar políticas públicas que atendam às necessidades da população. Entre suas atribuições, estão a administração de serviços básicos que impactam diretamente a qualidade de vida das pessoas e o desenvolvimento da comunidade (de MAGALHAES, 2005; BRAUN, 2014).

Além disso, a prefeitura é responsável por criar regulamentações que garantam o bem-estar coletivo, como o controle do uso do solo, transporte público e ações voltadas para a preservação ambiental (ANDRADE, 2020). Para Fuster (2016) as suas funções abrangem áreas essenciais, como saúde, educação, transporte, saneamento básico, manutenção urbana e segurança. Esses papéis são cruciais para assegurar o acesso aos serviços públicos e melhorar a qualidade de vida da população.

Para desempenhar as suas funções, a prefeitura precisa contar com uma estrutura logística eficiente, e os veículos desempenham um papel fundamental nesse processo (COSTA, 2018). Caminhões, ambulâncias, ônibus escolares, tratores e viaturas são

indispensáveis para realizar serviços de manutenção, transporte de pessoas e materiais, além de atender emergências e executar projetos específicos (RÊGO, 2011).

Sem uma frota de veículos em bom estado, muitas atividades essenciais seriam comprometidas, como a entrega de medicamentos às unidades de saúde, o transporte de alunos às escolas ou mesmo a limpeza pública. Assim, a manutenção e o gerenciamento adequado desses veículos são imprescindíveis para que a prefeitura cumpra suas funções de maneira eficiente, beneficiando toda a comunidade (MASSINI, 2023).

Os veículos utilizados por uma prefeitura são, geralmente, armazenados na Secretaria de Infraestrutura. Esses espaços também abrigam materiais indispensáveis para a operação da frota, como combustíveis, óleos lubrificantes, peças de reposição e ferramentas de manutenção (CAMPOS, 2021). No entanto, a ausência de um manejo adequado desses itens pode gerar riscos significativos tanto para os trabalhadores quanto para o meio ambiente (CANJO, 2022).

Bandeira (2016), mostra que a segurança no ambiente de trabalho e a preservação ambiental são responsabilidades fundamentais que devem ser assumidas pelas organizações públicas e privadas. No contexto das Secretarias de Infraestrutura, onde são armazenados combustíveis, óleos e outros materiais perigosos, essa preocupação torna-se ainda mais crítica (BERWING, 2019). A exposição inadequada a esses elementos pode gerar uma série de impactos negativos, como a contaminação do solo e da água, riscos de incêndios e explosões, além de ameaçar diretamente a saúde dos trabalhadores e da comunidade ao redor (DE MEDEIROS, 2019).

Segundo Balthazar (2017), a negligência em relação à gestão de riscos nessas instalações pode resultar em consequências severas, como multas ambientais, danos à reputação da instituição e aumento dos custos operacionais devido a acidentes ou reparações emergenciais. Por isso, é essencial que essas garagens sejam gerenciadas de forma sistemática e integrada, com a aplicação de ferramentas que identifiquem e mitiguem os riscos antes que se tornem problemas reais.

De acordo com Ávila (2014), a gestão de riscos ambientais é um conjunto de práticas voltadas para identificar, avaliar e mitigar os perigos que podem surgir em um ambiente de trabalho ou em atividades humanas. Luciano (2020) cita que a sua importância reside na proteção da saúde dos trabalhadores, na preservação do meio ambiente e na garantia da conformidade com a legislação. Uma gestão eficiente ajuda a prevenir acidentes, reduzir custos com danos e melhorar a segurança no local, promovendo um ambiente mais saudável e sustentável.

Entre as ferramentas utilizadas na gestão de riscos ambientais, destaca-se o Mapa de Riscos Ambientais, que é uma representação gráfica dos perigos presentes em determinado espaço que utiliza cores e símbolos para indicar diferentes tipos de riscos, como físicos, químicos, biológicos, ergonômicos ou de acidentes (da SILVA MONTEIRO, 2015). Essa ferramenta auxilia na visualização clara dos pontos críticos,

permitindo que as ações corretivas sejam mais direcionadas e eficazes (SATURNINO, 2022).

Diante deste cenário, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver e aplicar um modelo de gerenciamento de riscos ambientais na Secretaria de Infraestrutura Municipal localizada no estado do Paraná. Para alcançar esse propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar os principais riscos ambientais presentes na Secretaria da Infraestrutura considerando fatores como armazenamento de combustíveis, resíduos sólidos e outros materiais potencialmente perigosos;
2. Elaborar o Mapa de Riscos Ambientais, permitindo a visualização clara das áreas de maior vulnerabilidade e auxiliando na tomada de decisões;
3. Aplicar a Matriz GUT para classificar e priorizar os riscos identificados com base em sua gravidade, urgência e tendência, orientando as ações corretivas e preventivas;
4. Empregar a ferramenta 5W2H para estruturar o planejamento e a execução das medidas de controle de riscos, garantindo que sejam aplicadas de forma eficiente e eficaz;

O estudo baseou-se na necessidade de aprimorar a gestão de riscos ambientais em ambientes de trabalho que armazenam veículos e materiais perigosos, como na Secretaria de Infraestrutura Municipal. Conforme Mesquita (2016), a ausência de um sistema estruturado para identificar e mitigar esses riscos compromete a segurança dos trabalhadores, aumenta a probabilidade de acidentes e gera impactos negativos ao meio ambiente. Assim, este trabalho buscou propor um modelo integrado de gestão para promover operações mais seguras, eficientes e sustentáveis.

Este artigo está vinculado à área de Engenharia do Trabalho, uma das especializações da Engenharia de Produção. Essa área abrange práticas e metodologias que visam equilibrar a eficiência operacional com a preservação do ambiente de trabalho e o bem-estar social (MATTOS, 2011). Dentro desse contexto, o trabalho concentra-se na gestão de riscos ambientais na Secretaria de Infraestrutura Municipal, destacando a importância de soluções que promovam ambientes de trabalho mais seguros.

Este artigo é estruturado em quatro seções principais. A Introdução contextualiza o tema e define os objetivos do estudo. A Revisão Teórica apresenta conceitos sobre gestão de riscos ambientais e ferramentas como Mapa de Riscos, Matriz GUT e 5W2H. A Metodologia detalha as etapas adotadas para identificar e priorizar os riscos. Em Resultados e Discussão, são analisados os impactos das ações implementadas na Secretaria de Infraestrutura. Por fim, a Conclusão sintetiza os achados, apontando contribuições, limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os conceitos fundamentais que embasam o estudo, proporcionando um panorama sobre a gestão de riscos ambientais no contexto da infraestrutura pública. O referencial teórico está estruturado em quatro partes principais:

inicialmente, discute-se o gerenciamento de riscos ambientais, destacando metodologias utilizadas para identificação, avaliação e mitigação dos riscos. segurança do trabalho, abordando sua relevância para a proteção dos trabalhadores e do meio ambiente. Em seguida, explora-se o Mapa de Riscos Ambientais abordando sua relevância para a proteção dos trabalhadores e do meio ambiente. Posteriormente, são apresentadas as ferramentas Matriz GUT e 5W2H, explicando suas aplicações na priorização e na implementação de ações corretivas. Essa fundamentação teórica sustenta a abordagem proposta no estudo, demonstrando a importância de estratégias estruturadas para minimizar impactos negativos e promover um ambiente de trabalho mais seguro e sustentável.

A gestão de riscos ambientais é um processo sistemático para identificar, avaliar e controlar os riscos que atividades, processos ou instalações podem representar ao meio ambiente e à saúde humana. Esse gerenciamento visa reduzir os impactos ambientais, proteger os trabalhadores e garantir a conformidade com leis e regulamentações aplicáveis (HOKERBERG, 2006).

A gestão de riscos ambientais é indispensável para garantir a segurança e o bem-estar dos funcionários nos ambientes de trabalho (VIZARINI, 2021). Ao integrar ferramentas como a Matriz GUT e o 5W2H, é possível estabelecer uma abordagem estruturada e eficiente para mitigar os riscos identificados, melhorar o ambiente de trabalho e promover a saúde e segurança dos trabalhadores (BEHR, 2008).

Gerenciar riscos ambientais de forma eficaz é essencial para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores, além de promover um ambiente de trabalho produtivo e sustentável (BARBOSA, 2008).

Por exemplo, ao identificar áreas com alta concentração de produtos inflamáveis em uma Secretaria de Infraestrutura municipal, o mapa pode orientar a instalação de sistemas de contenção ou melhorias na ventilação, reduzindo significativamente os riscos. Dessa forma, o mapa de riscos é um aliado essencial na tomada de decisões para proteger pessoas e o meio ambiente.

2.1. MAPA DE RISCOS AMBIENTAIS

O Mapa de Risco Ambiental é uma representação gráfica que identifica e visualiza os riscos presentes no ambiente de trabalho, utilizando círculos de diferentes cores e tamanhos. Essa ferramenta permite uma compreensão rápida e intuitiva dos riscos existentes, facilitando a elaboração de estratégias de mitigação (LERMEN, 2016).

A Norma Regulamentadora (NR) 5 estabelece que a CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes) deve elaborar e fixar o mapa de riscos em todos os locais da empresa (VILELA, 2015). Essas normas têm como objetivo prevenir acidentes, proteger a saúde dos trabalhadores e garantir condições de trabalho seguras e adequadas em todos os setores e atividades econômicas (LUCIANO, 2020).

No ponto de vista do Sousa (2016) os riscos ambientais são categorizados com

base em sua natureza e no impacto que têm no corpo humano, como se segue:

1. **Riscos físicos (Verde):** Ruídos, vibrações, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, frio, calor, pressões anormais e umidades;
2. **Riscos químicos (Vermelho):** Poeira, fumos, névoas, neblina, gases, vapores, substâncias compostas ou produtos químicos em geral;
3. **Riscos biológicos (Marrom):** Vírus, bactérias, protozoários, fungos, parasitas e bacilos;
4. **Riscos ergonômicos (Amarelo):** Esforço físico intenso, levantamento e transporte manual de peso, exigência de postura inadequada, controle rígido de produtividade, imposição de ritmos excessivos, trabalhos em turnos diurnos e noturnos, jornadas de trabalho prolongados, monotonia e repetitividade, outras situações causadoras de estresse físicos e ou psíquicos.
5. **Riscos mecânicos (Azul):** Arranjo físico inadequado, Máquinas e equipamentos sem proteção, ferramentas inadequadas ou defeituosas, iluminação inadequada, eletricidade, probabilidade de incêndio ou explosão e armazenamento inadequado.

O Mapa de Risco é feito tendo como base a planta baixa ou esboço do local de trabalho, e os riscos serão definidos pelos diâmetros dos círculos, onde diâmetros maiores representam maiores riscos (DE CASTRO METELLO, 2012).

É fundamental entender que a simples presença de produtos ou agentes no ambiente de trabalho não significa, necessariamente, que há risco à saúde. Isso depende de diversos fatores, como a característica do produto, sua concentração, o tempo de exposição, a intensidade com que uma pessoa entra em contato com ele, entre outros aspectos (BARBOSA, 2008).

2.2. MATRIZ GUT

Costa (2017), ela serve para ajudar a tomar decisões difíceis ao determinar quais ações devem ser priorizadas entre várias alternativas possíveis. A Matriz GUT é uma ferramenta de priorização que avalia os riscos com base em três critérios: Gravidade, Urgência e Tendência. Com isso, é possível identificar quais riscos devem ser tratados com maior prioridade (CEVADA, 2021).

A matriz GUT é uma entre várias ferramentas disponíveis para análises voltadas à priorização de diferentes tipos de problemas (BRAGA, 2019). Seu propósito é oferecer ao time uma ferramenta que permita medir o grau de urgência das questões, considerando aspectos que seguem critérios padrão (ANDRADE MESQUITA, 2023). Assim, demandas que não são tão urgentes deixam de ser tratadas como prioridade, dando lugar às que realmente necessitam de atenção imediata (BAPTISTA, 2018).

- **Gravidade (G):** Avalia o impacto que o problema ou oportunidade tem sobre os resultados da organização, podendo afetar a qualidade, os custos, a segurança, a satisfação do cliente, entre outros. A gravidade pode ser classificada em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa impacto mínimo e 5, impacto máximo.

- **Urgência (U):** Refere-se ao tempo disponível para resolver o problema ou aproveitar a

oportunidade. Problemas que precisam ser resolvidos imediatamente ou em curto prazo recebem uma pontuação mais alta. Também pode ser classificada em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa baixa urgência e 5 altas urgência.

- **Tendência (T):** Avalia a probabilidade de crescimento do problema caso não seja tratado, ou a oportunidade de melhoria se for aproveitada. Problemas que tendem a piorar rapidamente ou oportunidades que se dissipam rapidamente recebem pontuações mais altas. Esta classificação também pode ser feita em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa baixa tendência de piora ou crescimento e 5 representa alta tendência.

A Matriz GUT é construída multiplicando os valores atribuídos a cada critério (Gravidade, Urgência e Tendência) para cada problema ou oportunidade analisada, e a pontuação total multiplicando esses três itens: $G \cdot U \cdot T = \text{Pontuação do GUT (NOVASKI, 2020)}$. Os itens são, então, priorizados com base nas suas pontuações totais, sendo os com pontuações mais altas considerados mais críticos e, portanto, necessitando de ação mais imediata (PESTANA, 2016). Segundo Quadro 1, mostra um exemplo de como é feita a Matriz GUT:

Pontos	Gravidade - consequência se nada for feito	Urgência - prazo para tomada de decisão	Tendência - proporção dos problemas no futuro	$G \times U \times T$
5	Os prejuízos ou dificuldade são extremamente graves	É necessária uma ação imediata	Se nada for feito, o agravamento da situação será imediato	$5 \times 5 \times 5 = 125$
4	Muito grave	Com algumas urgências	Vai piorar em curto prazo	$4 \times 4 \times 4 = 64$
3	Grave	O mais cedo possível	Vai piorar em médio prazo	$3 \times 3 \times 3 = 27$
2	Pouco grave	Pode esperar um pouco	Vai piorar em longo prazo	$2 \times 2 \times 2 = 8$
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar ou pode até melhorar	$1 \times 1 \times 1 = 1$

Quadro 1 - Priorização do problema

Fonte: ALVES (2017)

Normalmente, a matriz de priorização é utilizada em conjunto com outros métodos ou ferramentas de gestão de qualidade, como a ferramenta 5W2H, para ajudar a definir prioridades ao elaborar um plano de ação para cada problema identificado (DOS REIS INÁCIO, 2023). Sob essa ótica, a aplicação da matriz deve envolver toda a equipe, garantindo que diferentes perspectivas sejam consideradas e integradas, aumentando as chances de alcançar os objetivos com sucesso (PIERRE, 2021).

A matriz GUT tem como principal finalidade auxiliar as equipes de gerenciamento

de projetos a distribuir os recursos de forma mais eficiente, garantindo que as questões mais importantes e urgentes recebam a devida atenção em primeiro lugar (TOZZO, 2022). Essa ferramenta também permite à equipe identificar possíveis tendências e antecipar problemas, evitando que se tornem críticos, o que contribui para a melhoria da eficiência e eficácia no gerenciamento dos projetos (SANTOS, 2020). De forma geral, a matriz GUT é um recurso indispensável para equipes de gestão de projetos que desejam estabelecer prioridades de maneira estratégica, utilizando os recursos disponíveis de forma mais assertiva (LIMA, 2019).

Segundo De Lima (2022), ao aplicá-la, as equipes conseguem ter uma visão mais ampla e organizada dos problemas, o que facilita a tomada de decisões com base em informações concretas, aumentando as chances de sucesso nos projetos. Além disso, a matriz GUT evita que os colaboradores dediquem tempo a atividades que não são essenciais para o negócio, promovendo maior agilidade e objetividade nas operações. Como consequência, a organização consegue oferecer um atendimento mais eficiente, resultando em maior satisfação dos clientes (ZARPELAN, 2020). Sob essa ótica, a aplicação da matriz deve envolver toda a equipe, garantindo que diferentes perspectivas sejam consideradas e integradas, aumentando as chances de alcançar os objetivos com sucesso (LEITE, 2013).

2.3. 5W2H

Segundo o Okada (2022) a ferramenta 5W2H é uma abordagem estruturada para o planejamento de ações, respondendo às perguntas: o quê (*What*), por quê (*Why*), onde (*Where*), quando (*When*), quem (*Who*), como (*How*) e quanto custa (*How much*).

Essa ferramenta garante que todas as áreas críticas de um plano ou problemas sejam consideradas, facilita a comunicação e entendimento entre todas as partes envolvidas, fornecendo uma estrutura clara e lógica para implementação de ações e ajudando a identificar e mitigar possíveis problemas antes que eles ocorram. (VENTURA, 2019).

Ele pode ser usado tanto no planejamento estratégico, para organizar e orientar a execução de ações dentro da empresa, quanto em situações como o planejamento de uma viagem de negócios (MOTA, 2014).

De acordo com Lobato (2023), o principal objetivo do 5W2H é apoiar no planejamento de ações, ajudando a esclarecer dúvidas, resolver problemas e tomar decisões. Seu uso proporciona benefícios como a facilidade para entender os fatos e um melhor aproveitamento das informações (ARAÚJO, 2018). Isso ocorre porque a ferramenta auxilia na obtenção de respostas que tornam os cenários mais claros, facilitando a organização e a sistematização das ideias (MARCONATO, 2022).

A ferramenta atua como um *checklist* composto por sete perguntas específicas, cujas iniciais formam o nome 5W2H (em inglês). Essas perguntas orientam o planejamento de forma prática e eficaz (LISBÔA, 2012). As perguntas que compõem são:

- *WHAT*: o que será feito? – Nesta etapa, é necessário definir claramente a intenção do projeto ou ação que será realizada, descrevendo detalhadamente o que será executado.
- *WHY*: por que será feito? – Aqui, deve-se apresentar a justificativa para a ação proposta, explicando sua relevância e os benefícios esperados.
- *WHERE*: onde será feito? – Define-se o local onde a ação será realizada. Esse local pode ser físico, como uma sala específica, ou um setor ou departamento.
- *WHEN*: quando será feito? – Nesta etapa, determina-se o prazo e o cronograma para a execução da ação.
- *WHO*: por quem será feito? – É importante identificar quem será responsável pela execução. Pode ser uma pessoa ou um setor específico, sendo recomendável escolher um líder que acompanhará e gerenciará todo o processo.
- *HOW*: como será feito? – Deve-se descrever as estratégias e métodos que serão utilizados para garantir que a ação seja implementada de forma eficiente.
- *HOW MUCH*: quanto custará? – Aqui, é calculado o investimento necessário, incluindo os custos para a execução do projeto.

De acordo com Melônio (2023), as questões apresentadas pela ferramenta abordam aspectos essenciais da execução, assegurando que nenhuma etapa ou atividade seja negligenciada. No entanto, é crucial dedicar atenção durante sua aplicação, já que, por se tratar de perguntas relativamente simples, há o risco de erros ou da omissão de informações importantes (DE SENA, 2023).

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta pesquisa é aplicada, pois tem como objetivo resolver um problema específico: a gestão de riscos ambientais em uma Secretaria de Infraestrutura Municipal localizada no estado do Paraná. Os resultados práticos podem ser utilizados diretamente para a tomada de decisão gerencial e na redução de riscos no local estudado (VAZ, 2016).

A abordagem do problema é qualitativa e quantitativa, já que, segundo Souza (2017), abordagem qualitativa permite a análise interpretativa e a descrição dos riscos identificados no local, enquanto a abordagem quantitativa será utilizada, por exemplo, na aplicação da Matriz GUT, atribuindo valores numéricos para priorizar os riscos.

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é descritiva e exploratória. Conforme Gil (2019), a pesquisa exploratória visa entender melhor o problema e sugerir soluções, enquanto a pesquisa descritiva busca neste estudo descrever os riscos ambientais identificados, suas causas e implicações, apresentando as soluções por meio de ferramentas como o Mapa de Riscos Ambientais, Matriz GUT e 5W1H.

A definição de todas as ações contou com a participação dos funcionários da Secretaria de Infraestrutura, que atuam diretamente no ambiente de trabalho. Para

alcançar os objetivos deste estudo, a metodologia foi dividida em quatro etapas. A Figura 1 apresenta as etapas a seguir:



Figura 1 - Elaboração para a Construção do Gerenciamento dos Riscos Ambientais
Fonte: Autoria Própria (2025)

3.1. LOCAL DE APLICAÇÃO

Este trabalho foi aplicado em um município localizado no estado do Paraná; sendo um dos mais antigos do estado, conhecido por sua história, rica cultura e belezas naturais. Ao longo dos anos, a prefeitura tem se dedicado à gestão e ao desenvolvimento da cidade, garantindo a prestação eficiente de serviços públicos que atendam às necessidades da população local.

Dentro desse contexto, um setor importante para o funcionamento dos serviços municipais é a Secretaria de Infraestrutura. Este local é responsável pelo armazenamento, manutenção e gerenciamento de veículos e equipamentos utilizados em diversas atividades essenciais, como coleta de lixo, manutenção de vias públicas e transporte de materiais. A secretaria abriga caminhões, máquinas pesadas, veículos de transporte e equipamentos diversos que auxiliam nos serviços oferecidos pela prefeitura. A Figura 2, apresenta a localização da Secretaria de Infraestrutura Municipal:



Figura 2 - Localização da Secretaria Municipal de Infraestrutura

Fonte: Google Earth (2025)

Além disso, a Secretaria de Infraestrutura conta com oficinas para reparos e manutenções periódicas, além de depósitos destinados ao armazenamento de combustíveis, lubrificantes e outros materiais essenciais para a operação dos veículos. No

entanto, a presença desses materiais representa potenciais riscos para o bem-estar do trabalhador e a segurança durante as operações, especialmente em situações em que não há um manejo adequado.

Portanto, é fundamental a implementação de medidas eficazes de gerenciamento de riscos ambientais nesse espaço, garantindo não apenas a segurança dos profissionais envolvidos, mas também a proteção ambiental e a eficiência operacional do município.

3.2. IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS

A primeira etapa deste estudo consistiu na identificação dos riscos ambientais presentes na Secretaria de Infraestrutura municipal. Essa análise foi realizada durante o período de junho de 2024 até dezembro de 2024, com a participação ativa dos funcionários que atuam diretamente no local.

Para a coleta de informações, foram empregados métodos de observação direta, com visitas semanais ao ambiente de trabalho, a fim de identificar materiais perigosos como combustíveis, lubrificantes, produtos químicos e resíduos sólidos gerados pelas operações. Além disso, foram conduzidas conversas formais com os trabalhadores para compreender a rotina de trabalho, as condições atuais de segurança e os principais problemas enfrentados no local.

Contudo, foi constatada a falta de um protocolo formal de gerenciamento de riscos ambientais, o que evidenciava a necessidade de ações estruturadas e sistemáticas para lidar com as vulnerabilidades identificadas.

Essa etapa foi essencial para a compreensão dos riscos existentes e serviu como base para as próximas fases do estudo, permitindo a elaboração do Mapa de Riscos Ambientais e a definição de estratégias corretivas e preventivas.

3.3. MAPA DE RISCOS AMBIENTAIS

Após a identificação dos riscos ambientais na Etapa 1, foi elaborada a segunda etapa: o Mapa de Riscos Ambientais. Essa ferramenta visual possibilitou a representação gráfica das áreas de maior vulnerabilidade dentro da Secretaria de Infraestrutura. O mapa destacou as principais fontes de riscos, a localização dos materiais e entulhos ao redor do estabelecimento e a exposição dos trabalhadores aos perigos identificados.

O Mapa de Riscos Ambientais foi desenvolvido com base nos dados coletados na etapa 1, que incluem as observações diretas do ambiente de trabalho, e as entrevistas realizadas com os trabalhadores da Secretaria de Infraestrutura que conhecem a rotina operacional e os pontos críticos do ambiente.

Na criação do mapa, foi utilizado o software Lucidchart®. Por meio dessa ferramenta, foi possível identificar graficamente as áreas de maior vulnerabilidade e sobrepor as informações referentes às fontes de risco, categorizando-as de acordo com sua gravidade, probabilidade de ocorrência e exposição dos trabalhadores. O objetivo

desta etapa foi oferecer uma visão clara e objetiva dos riscos ambientais presentes no local, facilitando a priorização das ações corretivas e preventivas.

3.4. MATRIZ GUT

Na etapa 3 do estudo, foi utilizada a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para priorizar os riscos ambientais identificados na Secretaria de Infraestrutura. A pontuação da Matriz GUT foi realizada por meio de entrevistas com os funcionários do local durante o período do mês de julho até dezembro de 2024. A experiência prática dos colaboradores foi fundamental para garantir uma avaliação realista dos riscos existentes.

Para cada risco identificado, foram atribuídas notas de 1 a 5 em cada critério da matriz:

- 1 representa o menor grau de gravidade, urgência ou tendência.
- 5 representa o maior grau de gravidade, urgência ou tendência.

A pontuação final de cada risco foi obtida pela multiplicação dos valores atribuídos a Gravidade, Urgência e Tendência ($G \times U \times T$). Os riscos com as maiores pontuações foram considerados prioritários para a implementação das ações corretivas e preventivas.

Com essa ferramenta houve uma organização eficiente das prioridades, facilitando a tomada de decisão sobre quais riscos devem ser tratados imediatamente, garantindo, assim, a segurança dos trabalhadores e a redução de impactos ambientais.

3.5. FERRAMENTA 5W1H

Após a priorização dos riscos por meio da Matriz GUT, foram definidas as ações corretivas e preventivas com o auxílio da ferramenta 5W1H para garantir o controle e o acompanhamento das medidas implementadas. A definição das ações contou com a participação dos funcionários da secretaria de infraestrutura, cujas experiências práticas foram essenciais para propor soluções realistas e eficazes.

À medida que as ações foram sendo implementadas, registros fotográficos foram feitos para documentar as mudanças realizadas no ambiente. Cada etapa foi relatada, incluindo o impacto imediato observado, como melhoria dos equipamentos dos funcionários, e a correta armazenagem e descarte de materiais.

Embora não exista, até o momento, um indicador numérico para demonstrar a redução no número de acidentes, a implementação dessas ações foi recebida positivamente pelos trabalhadores, que relataram maior segurança no desempenho de suas funções.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ESTADO INICIAL

A análise inicial revelou que a situação da Secretaria de Infraestrutura municipal apresentava desafios significativos relacionados à gestão de riscos ambientais. O espaço, que acomoda combustíveis, lubrificantes e veículos pesados, estava desprovido de um sistema estruturado para identificar e tratar os riscos inerentes a essas operações.

No diagnóstico realizado, constatou-se a presença de diversos materiais perigosos e entulhos armazenados sem procedimentos padronizados de manejo ou descarte. Além disso, a movimentação frequente de veículos pesados tornava o ambiente propenso a acidentes.

A inexistência de um levantamento sistemático dos riscos representava uma vulnerabilidade, expondo trabalhadores a condições insalubres e colocando o meio ambiente em risco. Não foram observados controles efetivos de vazamentos, planos de emergência ambiental, nem treinamentos regulares para os funcionários que trabalham com materiais perigosos. A Figura 3, ilustra o armazenamento inadequado no depósito de combustíveis e o acúmulo de entulhos ao redor do estabelecimento:



Figura 3 - Secretaria de Infraestrutura – Estado inicial

Fonte: Autoria própria (2025)

4.2. IDENTIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DO MAPA DE RISCOS AMBIENTAIS

A construção do Mapa de Riscos Ambientais permitiu a identificação gráfica das áreas de maior vulnerabilidade. As zonas de risco mais críticas incluíam depósitos de combustíveis e áreas de manutenção. Com base no levantamento, foi possível identificar que a maior exposição ao risco se dava nos locais de armazenamento, além dos riscos ergonômicos, como é descrito na Figura 4:



Legenda

Setores		Riscos	Cores
Nº	Setor	Grande	Risco Físico
1	Sala da administração	Médio	Risco Químico
2	Sala da engenharia	Pequeno	Risco Ergonômico
3	Sala do secretário da infraestrutura		
4	Cozinha		
5	Banheiro masculino		
6	Banheiro feminino		
7	Sala dos funcionários		
8	Deposito dos combustíveis e lubrificantes		
9	Oficina		
10	Deposito dos materiais e ferramentas		
11	Deposito dos materiais e ferramentas		
12	Oficina		
13	Depositos		
14	Área externa		

Figura 4 - Mapa de Gestão de Risco na Secretaria de Infraestrutura

Fonte: Autoria Própria (2025)

Na figura 4 ilustra os riscos identificados no Mapa de Riscos Ambientais, evidenciando desafios na segurança do trabalho na manutenção e serviços da Secretaria de Infraestrutura Municipal. O armazenamento inadequado de pneus, materiais e entulhos aponta para riscos de acidentes e contaminação ambiental. A falta de EPIs - Equipamentos de Proteção Individual - utilizados para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores durante a realização de suas atividades e os treinamentos de segurança reforçam a vulnerabilidade dos trabalhadores frente a situações de perigo.

Além disso, fatores ergonômicos como monotonia, repetitividade e postura inadequada impactam negativamente a saúde dos funcionários, podendo gerar problemas musculares e esqueléticos. O arranjo físico inadequado contribui para a desorganização e aumenta a probabilidade de incidentes. Essas questões destacam a importância de ações imediatas para melhorar a segurança e promover um ambiente de trabalho mais saudável e eficiente.

4.3. FERRAMENTA MATRIZ GUT

A Matriz GUT foi utilizada para priorizar os riscos identificados. Os critérios de gravidade, urgência e tendência foram pontuados pelos funcionários da secretaria, e estão representados na figura 5:

Riscos	Gravidade	Urgência	Tendência	Pontuação
Armazenamento inadequado de pneus	5	5	5	125
Armazenamento de entulhos ao redor do estabelecimento	5	5	5	125
Falta de EPIs para trabalhadores	5	5	4	100
Postura Inadequada	5	5	4	100
Riscos de animais peçonhentos, insetos e bactérias	4	4	4	64
Armazenamento inadequado de materiais	4	4	4	64
Arranjo físico inadequado	4	4	3	48
Poeira	4	3	4	48
Monotonia e repetitividade	3	3	4	36
Ausência de treinamento de segurança	3	3	3	27

Legenda

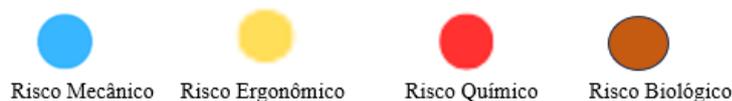


Figura 5 - Priorização dos riscos ambientais

Fonte: Autoria própria (2025)

Com base na análise, os problemas mais críticos foram o armazenamento inadequado de pneus e o acúmulo de entulhos ao redor do estabelecimento, ambos com pontuação 125, indicando a necessidade de intervenção imediata para evitar riscos à segurança dos trabalhadores.

A falta de EPIs e a postura inadequada também foram classificados como riscos relevantes, com pontuação 100, evidenciando a importância de garantir equipamentos de proteção adequados e promover boas práticas ergonômicas. Já o armazenamento inadequado de materiais e riscos com animais peçonhentos, insetos e bactérias receberam pontuação 64. O arranjo físico deficiente e a presença de poeira receberam pontuação 48, sendo considerados problemas moderados, mas que ainda exigem medidas corretivas para evitar impactos futuros.

Outros fatores como monotonia e repetitividade no trabalho (36 pontos) e a ausência de treinamento de segurança (27 pontos) foram classificados com menor prioridade, mas ainda representam riscos que devem ser mitigados para melhorar as condições laborais e a segurança operacional. Dessa forma, a Matriz GUT auxiliou na definição de prioridades para a gestão de riscos, garantindo uma abordagem mais eficiente e estruturada na implementação das soluções.

4.4. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA 5W1H

Os riscos (i) armazenamento inadequado de pneus, (ii) acúmulo de entulhos ao redor do estabelecimento, (iii) falta de EPIs e (iv) postura inadequada foram os

priorizados para a elaboração do plano de ação, especificamente os riscos que receberam pontuação superior a 100, indicando maior gravidade, urgência e tendência de agravamento, evidenciando que exigem ações imediatas e eficazes para mitigar riscos significativos à segurança, saúde e meio ambiente, alinhando-se às necessidades da Secretaria da Infraestrutura.

Com base nas prioridades estabelecidas, a ferramenta 5W1H foi empregada para planejar e implementar ações corretivas:

- (i) Armazenamento inadequado de pneus:
 - *What* (O que será feito?): Foi estabelecendo orientações para o descarte dos pneus para a reutilização e reciclagem.
 - *Why* (Por que será feito?): Reduzir riscos de incêndio, evitar acúmulo de água e proliferação de vetores, além de garantir a destinação correta dos pneus descartados.
 - *Where* (Onde será feito?): Numa área coberta ao lado do setor de depósito de combustíveis e lubrificantes da secretaria, com setor específico para descarte temporário.
 - *When* (Quando será feito?): 30/07/2024.
 - *Who* (Quem será responsável?): Coordenador da Infraestrutura.
 - *How* (Como será feita?): Limpando a área coberta e fechando um contrato de parceria para coleta e reaproveitamento dos pneus.

Na figura 6 pode-se observar o armazenamento inadequado dos pneus e a coleta para reciclagem:



Figura 6 - Armazenamento inadequado e a coleta dos pneus para reciclagem.

Fonte: Autoria própria (2025)

- (ii) Armazenamento de entulhos ao redor do estabelecimento:
 - *What* (O que será feito?): Foi estabelecendo orientações claras para a organização e descarte adequado.
 - *Why* (Por que será feito?): Reduzir impactos ambientais, melhorar a organização do espaço, evitar obstrução de áreas de circulação e promover a reutilização de materiais.
 - *Where* (Onde será feito?): Foram realizados ao redor da Secretaria de

Infraestrutura.

- *When* (Quando será feito?): 03/06/2024.
- *Who* (Quem será responsável?): Superintendente da Infraestrutura.
- *How* (Como será feito?): Organização dos entulhos e orientações para o reaproveitamento e reciclagem dos entulhos.

Na figura 7, ilustra o antes e depois da coleta para o descarte ao redor do estabelecimento:



Figura 7 - Armazenamento e coleta dos entulhos ao redor da Secretaria de Infraestrutura

Fonte: Autoria própria (2025)

(iii) Falta de EPIs para trabalhadores:

- *What* (O que será feito?): Foi distribuindo Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados para cada função, garantindo segurança e conformidade com as normas regulamentadoras.
- *Why* (Por que será feito?): Reduzir riscos de acidentes e doenças ocupacionais, garantindo a proteção dos trabalhadores e o cumprimento da legislação de segurança do trabalho.
- *Where* (Onde será feito?): Foram feitos em todos os setores operacionais da Secretaria de Infraestrutura.
- *When* (Quando será feito?): 02/09/2024.
- *Who* (Quem será responsável?): Secretário da Infraestrutura.
- *How* (Como será feito?): Levantamento dos EPIs necessários para cada função, aquisição junto a fornecedores certificados, distribuição aos trabalhadores e orientação sobre uso correto e conservação dos equipamentos.

Na figura 8, ilustra a troca do antigo capacete para o novo:



Figura 8 - EPIs dos funcionários da Secretaria de Infraestrutura

Fonte: Autoria própria (2025)

(iv) Postura inadequada

- *What* (O que será feito?): Foi fornecendo mobília nova e equipamentos ajustáveis para melhorar a postura dos trabalhadores.
- *Why* (Por que será feito?): Reduzir riscos de lesões musculares e esqueléticas, melhorar o bem-estar dos trabalhadores e aumentar a produtividade.
- *Where* (Onde será feito?): Nos setores administrativos e operacionais da secretaria de Infraestrutura, priorizando áreas com maior incidência de esforços repetitivos ou posturas inadequadas.
- *When* (Quando será feito?): 05/08/2024.
- *Who* (Quem será responsável?): Diretor da Infraestrutura.
- *How* (Como será feito?): Avaliação ergonômica dos postos de trabalho, ajustes de cadeiras, bancadas e ferramentas.

Na figura 9, ilustra a troca das antigas cadeiras, para as novas com ajustes para melhorar a postura dos trabalhadores.



Figura 9 - Troca de mobília na Secretaria de Infraestrutura

Fonte: Autoria própria (2025)

Com as ações aplicadas, houve uma perceptível melhora na organização e

segurança do ambiente. As orientações proporcionaram maior conscientização entre os funcionários, garantindo o local organizado e seguro durante as operações. Embora ainda não existam indicadores de longo prazo como redução de acidentes ambientais, a mudança nas práticas gerenciais indica um caminho promissor para a sustentabilidade das operações.

O modelo implementado deve contribuir para a redução de riscos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente, além de garantir maior eficiência operacional no gerenciamento dos recursos públicos. A abordagem sistemática pode servir como base para replicação em outras prefeituras que enfrentam desafios semelhantes.

A aplicação do modelo de gerenciamento de riscos ambientais gerou impactos positivos na Secretaria de Infraestrutura Municipal, principalmente na melhoria da segurança dos trabalhadores e na organização do ambiente de trabalho. A adoção de medidas corretivas, como a reorganização do armazenamento de pneus e entulhos, a disponibilização de EPIs adequados e a reestruturação ergonômica dos espaços, resultou em um ambiente mais seguro e eficiente, reduzindo a exposição a riscos ocupacionais e ambientais.

Os funcionários demonstraram uma recepção positiva às mudanças implementadas, destacando a maior percepção de segurança no ambiente de trabalho e a valorização das condições laborais. Além disso, os treinamentos realizados aumentaram a conscientização sobre a importância da prevenção de acidentes e da adoção de boas práticas no cotidiano da secretaria.

A metodologia aplicada pode ser expandida para outras áreas da prefeitura, como o setor de limpeza urbana, manutenção de vias públicas e gestão de resíduos sólidos, onde os riscos ambientais e ocupacionais também são significativos. A implementação desse modelo em diferentes setores contribuiria para uma abordagem integrada da gestão de riscos, promovendo maior eficiência e sustentabilidade nas operações municipais.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho desenvolveu um modelo de gestão de riscos ambientais voltado para a área da Secretaria de Infraestrutura, atendendo ao seu objetivo principal. Para alcançar esse propósito, foram empregadas ferramentas estratégicas, conforme previsto nos objetivos específicos: o Mapa de Riscos Ambientais, a Matriz GUT e o 5W1H. O Mapa de Riscos foi utilizado para identificar e representar graficamente os fatores de risco no local, permitindo a visualização das áreas mais críticas. A Matriz GUT, por sua vez, priorizou os riscos identificados com base na gravidade, urgência e tendência, orientando as decisões quanto à ordem de abordagem dos problemas. Já o 5W1H foi aplicado para planejar e acompanhar as ações corretivas, garantindo que cada medida fosse executada de forma clara e organizada. Os resultados demonstraram melhorias significativas na organização do espaço, na segurança operacional e na conscientização dos trabalhadores,

reforçando a eficácia dessas ferramentas para promover um gerenciamento do ambiente local mais seguro.

Apesar dos avanços alcançados, como a implementação de contenções para materiais perigosos e a realização de treinamentos específicos, o estudo enfrentou algumas limitações. Entre elas, a ausência de monitoramento de longo prazo impediu a avaliação detalhada do impacto das ações implementadas ao longo do tempo. A falta de um processo estruturado para organização das atividades e a inexistência de procedimentos padronizados também representaram desafios, impactando a implementação das medidas corretivas. Outro fator limitante foi a necessidade de treinamentos contínuos para os funcionários, pois a conscientização e a adoção de novas práticas exigem tempo e engajamento. Além disso, restrições orçamentárias e de recursos humanos dificultaram a implementação imediata de todas as ações propostas, tornando necessário um planejamento progressivo para garantir a efetividade do modelo de gerenciamento de riscos ambientais.

Sugere-se que pesquisas futuras expandam este modelo para outras prefeituras ou setores industriais com desafios semelhantes, considerando a inclusão de indicadores de desempenho. Além disso, o monitoramento contínuo das ações propostas pode fornecer dados mais robustos, fortalecendo a gestão de riscos ambientais e contribuindo para a construção de ambientes de trabalho mais seguros e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Rosângela et al. Aplicabilidade da Matriz GUT para identificação dos processos críticos: O estudo de caso do departamento de direito da Universidade Federal de Santa Catarina. **Colóquio Internacional de Gestão Universitária, XVII**, 2017.
- ANDRADE MESQUITA, Alan et al. Matriz GUT na extensão rural: estudo de multicasos na agricultura familiar da região amazônica. *Extensão em Foco*, n. 30, 2023.
- ANDRADE, Alequexandre Galvez; DA SILVA MORAES, Yohana Godinho; MANGINI, Eduardo Roque. O balanced scorecard aplicado à administração pública municipal: um estudo na prefeitura de Ibiúna, Estado de São Paulo. *Revista Gestão em Análise*, v. 9, n. 1, p. 123-135, 2020.
- ARAÚJO, André Luiz Santos de. Implantação das ferramentas 5S e 5W2H como plano de ação no setor de oficina em uma empresa de automóveis na cidade de João Pessoa-PB. 2018.
- ÁVILA, Marta Dulcélia Gurgel. Gestão de riscos no setor público. *Revista Controle: doutrinas e artigos*, v. 12, n. 2, p. 179-198, 2014.
- BALTHAZAR, Marco Antonio Pinto et al. Gestão dos riscos ocupacionais nos serviços hospitalares: uma análise reflexiva. *Revista de Enfermagem UFPE on line*, v. 11, n. 9, p. 3482-3491, 2017.
- BANDEIRA, ANA PATRÍCIA NUNES; NUNES, PAULA HEMÍLIA DE SOUZA; LIMA, MARIA GORETHE DE SOUSA. Gerenciamento de riscos ambientais em municípios da região metropolitana do Cariri (Ceará). *Ambiente & Sociedade*, v. 19, p. 81-100, 2016.
- BAPTISTA, A. R. F. P. et al. Matrizes GUT e 5W2H: Suas aplicações em um contexto socioambiental. *Revista Tecnologia & Cultura*, v. 31, p. 55-64, 2018.
- BARBOSA, Lidiane Nunes; DE ALMEIDA, Flávia Queiroga Aranha. Relato de experiência sobre a

avaliação dos riscos ambientais e mapeamento em uma unidade de alimentação e nutrição (UAN) para a promoção da segurança no trabalho. **Revista Simbiologias**, v. 1, n. 2, 2008.

BARBOSA, Lidiane Nunes; DE ALMEIDA, Flávia Queiroga Aranha. Relato de experiência sobre a avaliação dos riscos ambientais e mapeamento em uma unidade de alimentação e nutrição (UAN) para a promoção da segurança no trabalho. *Revista Simbiologias*, v. 1, n. 2, 2008.

BEHR, Ariel; MORO, Eliane Lourdes da Silva; ESTABEL, Lizandra Brasil. Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca. *Ciência da Informação*, v. 37, p. 32-42, 2008.

BERWIG, Juliane Altmann. A gestão dos riscos ambientais da nanotecnologia a partir de estudo de um caso: a elaboração de framework com fundamento no sistema do direito ambiental brasileiro. 2019.

BRANCO, Alex Sandro Corrêa. Conflito de interesse na administração pública: Estudo de caso na Prefeitura Municipal de Cachoeirinha-RS. 2011.

BRAUN, Carla Cristine; MUELLER, Rafael Rodrigo. A gestão do conhecimento na administração pública municipal em Curitiba com a aplicação do método OKA-Organizational Knowledge Assessment. *Revista de Administração Pública*, v. 48, p. 983-1006, 2014.

CAMPOS, Larissa Dias et al. ELABORAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO MAPA DE RISCOS AMBIENTAIS PARA PREVENÇÃO DE ACIDENTES DO TRABALHO EM BASE ONSHORE DE EMPRESA DE HOTELARIA MARÍTIMA. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, v. 2, n. 12, p. 141-151, 2021.

CARREIRO, Tayemily F. Rocha. A gestão de processos na secretaria de infraestrutura do município de João Pessoa. 2016.

CEVADA, Luana Zanini; PATRICIA DE CARVALHO, DAMY-BENEDETTI. Uso da Matriz de Priorização (Matriz GUT) como aliada em Auditorias. *Revista Científica Unilago*, v. 1, n. 1, 2021.

CONJO, Manuel Pastor Francisco et al. O PAPEL DAS CONSULTAS PÚBLICAS NA GESTÃO DE RISCOS AMBIENTAIS: UM OLHAR AOS PROJECTOS DE PETRÓLEO E GÁS EM MOÇAMBIQUE. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 2, p. 74-93, 2022.

COSTA, Alcione Soares da. A atuação de profissionais sem formação em secretariado executivo na função da assessoria: um estudo na prefeitura municipal de Mataraca/PB. Trabalho de conclusão de curso, 2018.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos et al. Aplicação da matriz GUT na gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do Recife-PE. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, p. 201-213, 2017.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos et al. Aplicação da matriz GUT na gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do Recife-PE. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, p. 201-213, 2017.

DA SILVA MONTEIRO, Gicely Regina Sobral; DA SILVA, Mirely Eunice Sobral; DE OLIVEIRA, Regina Célia. Mapa de risco como instrumento para a identificação de riscos ocupacionais: revisão integrativa da literatura. *Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online*, v. 7, n. 3, p. 3076-3096, 2015.

DE CASTRO METELLO, Flaviana; VALENTE, Geilsa Soraia Cavalcanti. A importância de medidas de biossegurança como prevenção de acidentes do trabalho através da identificação de riscos biológicos no mapa de risco. *Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online*, v. 4, n. 3, p. 2338-2348, 2012.

DE LIMA, Brenda Gomes Silva et al. Levantamento das manifestações patológicas de uma residência unifamiliar no município de Imperatriz-MA com aplicação da matriz GUT. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 8, n. 4, p. 14177-01e, 2022.

DE MAGALHAES, Elizete Aparecida et al. A influência da Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF) na tomada de decisão pelos gestores públicos municipais. *Contabilidade Vista & Revista*, v. 16, n. 3, p. 9-26,

2005.

DE MEDEIROS FREITAS, Ketson Patrick. GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO. Revista Valore, v. 6, p. 6013, 2021.

DE MEDEIROS, ANA LÚCIA et al. Gerenciamento de riscos e segurança no trabalho em unidades de saúde da família. 2013.

DE SENA, Willame Nogueira. O uso de ferramentas de controle da qualidade pela gestão escolar: o ciclo PDCA e a ferramenta 5W2H. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 8, p. 12634-12648, 2023.

DOS REIS INÁCIO, Laíres Cristina et al. Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 10, p. 17413-17427, 2023.

FRYSZMAN, Marjorie May. Cultura organizacional e gestão por resultados na administração pública: o caso da prefeitura do município de Osasco. 2015.

FUSTER, Danilo André. Burocracia e políticas públicas: uma análise da distribuição e ocupação dos cargos e funções em comissão da prefeitura de São Paulo. In: IX Congresso CONSAD de Gestão Pública. 2016.

HÖKERBERG, Yara Hahr Marques et al. O processo de construção de mapas de risco em um hospital público. Ciência & Saúde Coletiva, v. 11, p. 503-513, 2006.

JÚNIOR, José. O controle e desempenho da frota de veículos leves do município de Itupeva pode ser utilizado como ferramenta de maximização de resultados e minimização de custos e desvios?. 2018

LEITE, Maria Silene Alexandre; DE VASCONCELOS, Vitória Maria Mola; SILVA, Tálita Floriano Goulart. O uso da matriz GUT em conjunto com Método de Custeio ABC: aplicação em uma empresa de confecções. ABCustos, v. 8, n. 3, p. 79-87, 2013.

LERMEN, Fernando Henrique et al. Elaboração do Mapa de Risco em uma indústria de Biossegurança. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, v. 4, n. 6, p. 78-91, 2016.

LIMA, Maria Gilcelannia Holanda. Diagnóstico de incidências de manifestações patológicas com a utilização da metodologia matriz gut-estudo de caso. 2019.

LISBÔA, Maria da Graça Portela; GODOY, Leoni Pentiado. Aplicação do método 5W2H no processo produtivo do produto: a joia. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 4, n. 7, p. 32-47, 2012.

LOBATO, Eric Davi Coelho; DOS SANTOS, Renan Baltazar. PLANEJAMENTO FINANCEIRO: UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA MATRIZ 5W2H COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE NO SETOR FINANCEIRO DAS PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS (PMES). REVISTA FOCO, v. 16, n. 6, p. e2121-e2121, 2023.

LUCIANO, Érik Leonel et al. Gerenciamento de riscos ocupacionais: uma nova proposta de segurança do trabalho. South American Development Society Journal, v. 6, n. 17, p. 156-156, 2020.

LUCIANO, Érik Leonel et al. Gerenciamento de riscos ocupacionais: uma nova proposta de segurança do trabalho. South American Development Society Journal, v. 6, n. 17, p. 156-156, 2020.

MARCONATO, Rafael Silva et al. Revisando o fluxo de materiais reprocessáveis entre unidades de internação e o centro de material esterilização: melhoria utilizando Ferramentas Lean. Sínteses: Revista Eletrônica do SimTec, n. 8. Eixo 4, p. e0220846-e0220846, 2022.

MASSARONI, Iracema Fernandes; SCAVARDA, Annibal José Roris Rodriguez. Gestão de Serviços em Bibliotecas Públicas: aplicação do 5W2H na política de aquisição de acervo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 6, n. 1, p. 4-16, 2015.

MASSINI, Christiane Maria da Silva. Georastreamento veicular: uma ferramenta a serviço da administração pública da prefeitura de Pancas-ES. 2023.

MATTOS, Ubirajara; MÁSCULO, Francisco. Higiene segurança do trabalho. Elsevier Brasil, 2011.

- MELÔNIO, Eula Pereira Moura. Ferramenta 5w2h: a importância do plano de ação para tomadas de decisão no empreendedorismo. 2023. Dissertação de Mestrado.
- MESQUITA, Simone Maria Moura et al. Ergonomia, psicodinâmica e riscos. *ECOS-Estudos Contemporâneos da Subjetividade*, v. 6, n. 1, p. 136-149, 2016.
- MOTA, Edmarson Bacelar. Sucesso aplicando a ferramenta 5W2H como metodologia em projetos de curto prazo–Implatação de metodologia de gerenciamento de projetos pequenos na indústria siderúrgica. 2014. Tese de Doutorado. Fundação Getúlio Vargas.
- NOVASKI, Vanessa; FREITAS, Jéssica Lopes; BILLIG, Osvaldo Alencar. Aplicação de matriz gut e gráfico de pareto para priorização de perdas no processo produtivo de uma panificadora. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 11, p. 42203-42207, 2020.
- OKADA, Roberto Hirochi et al. Implementação da ferramenta 5w2h no processo de produção para a obtenção de resultados e melhorias no processo. *Revista Interface Tecnológica*, v. 19, n. 2, p. 974-984, 2022.
- PEIXOTO, Neverton Hofstadler. Segurança do trabalho. **Santa Maria: Universidade Federal Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria**, 2011.
- PESTANA, Marcelo Diniz et al. Aplicação integrada da matriz GUT e da matriz da qualidade em uma empresa de consultoria ambiental. Um estudo de caso para elaboração de propostas de melhorias. **GESTÃO DE SERVIÇOS**, p. 6, 2016.
- PIERRE, Fernanda Cristina; DA SILVA HONÓRIO, Letícia. USO DA MATRIZ GUT NA PRIORIZAÇÃO DE PROBLEMAS EM UM SUPERMERCADO NO INTERIOR DE SÃO PAULO. In: X JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2021.
- RÊGO, Giovanni Silva; PIMENTA, Handson Cláudio Dias; SARAIVA, Vanda Maria. Agenda Ambiental na Administração Pública-A3P: um estudo sobre a potencialidade de aplicação no município de São Gonçalo do Amarante/RN. *Holos*, v. 4, p. 29-50, 2011.
- SANTOS, Vielka Pereira dos. Análise das manifestações patológicas no edifício residencial da Casa do Estudante em Palmas-TO através da Matriz GUT de priorização. 2020.
- SATURNINO, Moara Batista. Análise da implementação de programa de prevenção de riscos ambientais em empreendimentos de serviço de saúde. 2022.
- SOUSA, Jackson Epaminondas de et al. Elaboração do mapa de riscos ocupacionais em uma empresa de beneficiamento de granitos e mármore na Paraíba. 2016.
- SOUZA, Kellcia Rezende; KERBAUY, Maria Teresa Miceli. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. *Educação e Filosofia*, v. 31, n. 61, p. 21-44, 2017.
- TOZZO, Maycon; DA SILVA, Vinicius Ramos Lages; SPÓSITO, Edson Alcebíades. Planejamento Estratégico com uso das Ferramentas SWOT Cruzada, Matriz GUT e 5W2H. Um estudo de caso em uma pizzaria. *Revista FIBinova*, v. 2, 2022.
- VAZ, Vivian Tosin. Categoria Acadêmico Regulação Técnica 3º Lugar: A implantação de standard operating precedures como instrumento gerencial da segurança operacional de empresas aeroagrícolas. 2016.
- VENTURA, Katia Sakihama; SUQUISAQUI, Ana Beatriz Valim. Aplicação de ferramentas SWOT e 5W2H para análise de consórcios intermunicipais de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente construído**, v. 20, p. 333-349, 2019.
- VILELA, Rodolfo Andrade Gouveia et al. Ameaças à proteção do trabalho: o caso da segurança em máquinas e equipamentos. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 40, n. 132, p. 113-117, 2015.
- VIZARINI, Miguel Fernandes et al. MAPEAMENTO DE RISCOS OCUPACIONAIS. 2021.

ZARPELAN, Juliana Bertello; SILVA, Marcelo Pereira. Aplicação de matriz GUT na priorização de tarefas no setor financeiro de uma empresa de bebidas. In: CONBREPRO–Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. 2020.

Inteligência artificial aplicada à previsão de falhas: uma análise comparativa entre modelos para a gestão de manutenção no setor portuário

Issamy Kuriyama da Costa (issamy.costa.511@estudante.unespar.edu.br)

Gustavo de Souza Matias (gustavo.matias@unespar.edu.br)

Resumo: Com a crescente globalização e competitividade do mercado, as organizações enfrentam pressão constante para implementar melhorias contínuas e inovações que garantam excelência operacional e eficiência produtiva. Nesse contexto, a gestão da manutenção destaca-se como um fator crucial para melhorar métricas de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, minimizando falhas e reduzindo custos de manutenção corretiva a médio e longo prazo. Este artigo implementou métodos de previsão, por meio da quantidade de paradas de máquinas no setor de manutenção de uma empresa portuária localizada no litoral do Paraná, a fim de comparar os modelos, avaliar seus desempenhos e auxiliar na seleção da abordagem mais adequada à gestão da manutenção da empresa. Modelos avançados de Inteligência Artificial, como redes neurais MLP e LSTM, foram aplicados e comparados ao modelo estatístico clássico ARIMA. Os resultados demonstraram que os modelos baseados em aprendizado de máquina superaram abordagens tradicionais, apresentando maior precisão. Dessa forma, a previsão de paradas de manutenção contribuiu para identificar que o modelo LSTM é o mais adequado na gestão da manutenção da empresa portuária, além de propor aumento no quadro de manutentores da companhia.

Palavras-chave: Manutenção; Machine Learning; Modelos Estatísticos

Artificial intelligence applied to failure prediction: a comparative analysis of models for maintenance management in the port sector

Abstract: With increasing globalization and market competitiveness, organizations face constant pressure to implement continuous improvements and innovations that guarantee operational excellence and productive efficiency. In this context, maintenance management stands out as a crucial factor in improving equipment availability and reliability metrics, minimizing failures and reducing corrective maintenance costs in the medium and long term. This article implemented forecasting methods, using machine downtime in the maintenance sector of a port company located on the coast of Paraná, in order to predict, compare and evaluate the best approach for use in the company's maintenance management. Advanced Artificial Intelligence models, such as MLP and LSTM neural networks, were applied and compared to the classic ARIMA statistical model. The results showed that models based on machine learning outperform traditional approaches and are more accurate. In this way, the forecasting of maintenance stoppages helped to identify that the LSTM model is the most suitable for managing maintenance at the port company, as well as proposing an increase in the company's maintenance staff.

Keywords: Maintenance; Machine Learning; Statistical Models

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente globalização, a sobrevivência das organizações frente a um mercado competitivo as obrigará a implementar melhorias contínuas e processos de inovação para alcançar excelência operacional e eficiência em sua produção (Farah, 2018). Para Correia (2016), a postura gerencial deve ser sustentada por uma visão a longo prazo, de modo que a satisfação de seus clientes seja resultante de uma qualidade intrínseca de seus produtos, processos e serviços. Além disso, Santos (2020) ressalta também que para obter vantagem competitiva, a inovação torna-se um caminho para ascensão da empresa no âmbito organizacional.

Para isso, o que cerne a preocupação de algumas empresas é no quesito da Gestão da Manutenção, visto que há uma busca para atingir uma melhora em métricas relacionadas a Disponibilidade e Confiabilidade em seus equipamentos de operação, de modo que possam trabalhar com eficiência, minimizando possíveis falhas e custos de manutenção corretiva a médio e longo prazo (Almeida, 2019). De acordo com Abramam (2019), a média geral dos custos relacionados à manutenção no Brasil é de 5% do faturamento bruto da empresa.

Deste modo, ao desenvolver uma gestão de manutenção hábil, deve-se garantir a eficiência das unidades produtivas da empresa, isto inclui melhorias na qualidade e disponibilidade, assim permitindo que empresas atinjam suas metas gerenciais (Faccio et al., 2014). Deste modo, a gestão da manutenção revela-se essencial para garantir o funcionamento eficiente dos ativos, assegurando a continuidade das operações e mitigando os impactos negativos que falhas podem causar na produção e nos resultados organizacionais.

Segundo Pellegrini (2000), os modelos de previsão são importantes ferramentas que desempenham um papel-chave em diversas áreas de gestão nas corporações, no qual podem auxiliar no planejamento, gerenciamento e até mesmo na implementação. Além disso, modelos de previsão permitem prever falhas e otimizar a manutenção, garantindo a segurança funcional e a disponibilidade ao longo do ciclo de vida dos equipamentos, ao mesmo tempo que reduz os custos de manutenção (Theissler et al., 2021).

Alguns artigos científicos destacam que a ocorrência de falhas ocasiona o tempo de inatividade dos equipamentos, podendo ocasionar níveis de impactos nas organizações, Bozhikov (2012) em seu estudo retrata sobre os custos diretos e indiretos decorrentes da inatividade dos equipamentos, que para médias e grandes empresas podem sofrer maior impacto, tais como perda de receita, custos de reparação, instalações perdidas em custos diretos e perda de satisfação do serviço prestado ao cliente, danos à marca e insegurança dos colaboradores com a operação em custos indiretos. Outro estudo evidencia que o impacto de inatividade não planejada em um setor de petróleo e gás, apenas 1% por ano, equivalente a 3.65 dias de inatividade, pode custar cerca de US\$5.037 milhões por ano (GE, 2016; Pharaon, 2022).

A adoção de abordagens analíticas baseadas em dados permite encontrar resultados interpretativos que auxiliam na tomada de decisões estratégicas, proporcionando benefícios como a diminuição dos custos de manutenção, redução de falhas em equipamentos, minimização de paradas para reparos, melhoria de segurança e aumento da produtividade (Carvalho et al., 2019; Peres et al., 2018)

Diante disso, este artigo implementou métodos de previsão, por meio da quantidade de paradas de máquinas no setor de manutenção de uma empresa portuária localizada no litoral do Paraná, a fim de comparar os modelos, avaliar seus desempenhos e auxiliar na seleção da abordagem mais adequada à gestão da manutenção da empresa. Foram comparados modelos como ARIMA, MLP e LSTM, buscando avaliar a eficácia

de cada abordagem para prever falhas com maior precisão e impacto operacional positivo.

A relevância deste trabalho reside no impacto das paradas não planejadas sobre o setor portuário, que pode sofrer grandes prejuízos financeiros e operacionais. Apesar de avanços em tecnologias preditivas, ainda existem lacunas relacionadas à aplicação prática e à comparação de diferentes modelos de previsão neste setor em específico. Espera-se, assim, que os resultados deste estudo contribuam tanto para a literatura acadêmica quanto para a implementação de soluções práticas que aprimorem a gestão da manutenção em empresas industriais e portuárias.

Como contribuições práticas, têm-se a adoção do modelo mais assertivo para a gestão da manutenção na empresa, além de aprimorar o planejamento de manutenções preventivas e melhorar métricas de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Além disso, este estudo contribui teoricamente para a aplicação de ferramentas de *Machine Learning* em métodos de previsão voltados para diferentes áreas da gestão empresarial, com ênfase na Gestão da Manutenção e, por fim, busca enriquecer a literatura na área de Engenharia de Operações e Processos de Produção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

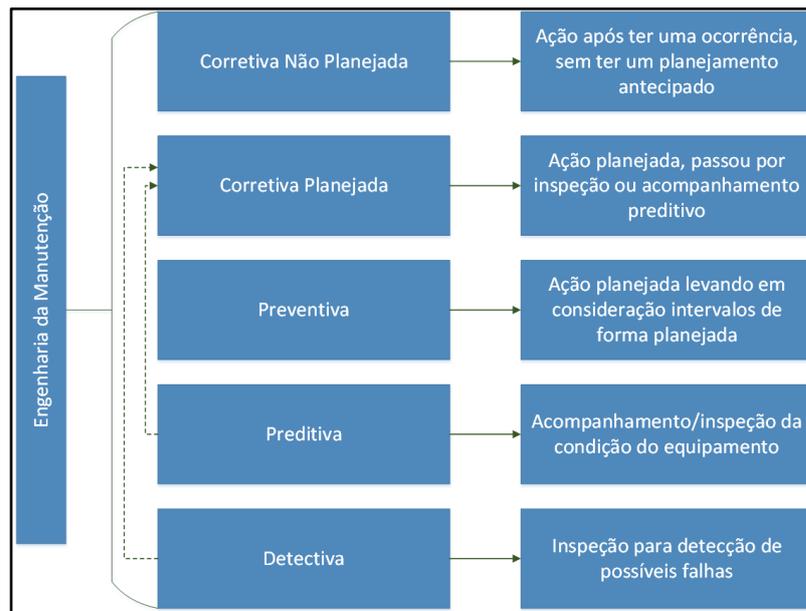
2.1. GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Segundo Gressler et al. (2020), a manutenção de ativos físicos é essencial para que as organizações alcancem resultados estratégicos em mercados cada vez mais competitivos. Os processos de manutenção são cruciais para garantir que os ativos físicos mantenham a alta produtividade da organização.

Deste modo, Kardec e Nascif (2009) destacam que a gestão estratégica da manutenção tem como principal objetivo assegurar a funcionalidade plena de ativos físicos, de modo que estes possam ser utilizados com segurança e confiabilidade a um custo baixo ou adequados para os processos aos quais estes estão inseridos.

Na literatura, existem inúmeras classificações e diversas formas de executar a manutenção. A Figura 1 representa os tipos de manutenção de acordo com a classificação realizada por Kardec e Nascif (2009).

Figura 1 - Tipos de Manutenção



Autor: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Viana (2002) define a manutenção corretiva não planejada como uma atuação de forma aleatória e espontânea. Para ele, a intervenção se torna necessária a fim de evitar graves consequências aos ativos da produção, à segurança dos colaboradores e ao meio ambiente.

Em contrapartida, Vaz (1997) salienta que a manutenção preditiva é a solução ideal para identificar as falhas e defeitos nos ativos, pois ela consiste na inspeção antecipada de um equipamento de forma a providenciar manutenção adequada e em tempo hábil antes da ocorrência de alguma inconsistência.

Em suma, será realizado uma avaliação das falhas, de modo a reduzir a frequência, otimizar os custos relacionados às Manutenções Corretivas Não Planejadas e intensificar o uso de Manutenções Preditivas ou Preventivas para garantir um nível maior de confiabilidade nos equipamentos.

2.2. MÉTODO DE PREVISÃO

As previsões desempenham um papel muito importante em diversas áreas da gestão empresarial. Conforme Chiba (2020), as previsões podem reduzir incertezas, contribuir para melhores resultados ao definir níveis de estoques adequados, na melhor utilização de ativos com redução de mão de obra e materiais, ou até mesmo, na melhor

coordenação de atividades.

Segundo Pellegrini (2000), os métodos de previsão podem ser separados em três tipos: métodos quantitativos, métodos qualitativos, ou combinação de métodos quantitativos e qualitativos.

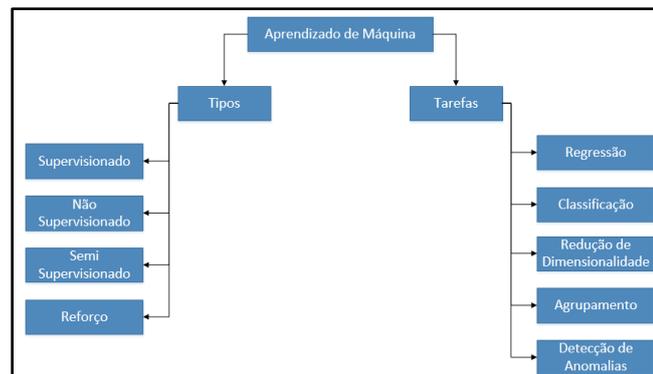
Os métodos qualitativos são de natureza subjetiva, este tipo de análise pode ser vulnerável, pois as preferências e interpretações distintas de cada indivíduo podem comprometer a confiabilidade do resultado final (Chiba, 2020). Alguns exemplos que podem ser citados são: Método Delphi, Pesquisa de Mercado, entre outros.

Os métodos quantitativos fazem uso de dados históricos para prever algo em períodos futuros, ela requer a construção de modelos matemáticos a partir de dados coletados. (Pellegrini, 2000). Alguns exemplos são: métodos estocásticos, métodos adaptativos, entre outros.

Existem inúmeros tipos de modelos que podem ser utilizados, o emprego de cada modelo vai variar conforme a necessidade e comportamento que os dados apresentem.

Para este estudo, serão realizadas previsões utilizando modelos tradicionais, como ARIMA, e técnicas de Redes Neurais Artificiais, como MLP e LSTM. Segundo Noronha et al. (2023), os sistemas de machine learning aprendem por meio dos dados, ele é um conjunto de métodos que podem detectar padrões para prever o futuro dados, ou para realizar outros tipos de tomada de decisão sob incerteza. A Figura 2 representa uma visão geral que envolve o aprendizado de máquinas.

Figura 2 - Visão Geral do Aprendizado de Máquina



Autor: Adaptado de Felix (2022)

Segundo Kang & Tekinerdogan (2020), este tipo de modelo pode ser benéfico

para linha de produção, auxilia numa melhor compreensão do sistema com a ajuda desse modelo de previsão. Como também, prever fatores de risco, minimização de ocorrências indesejadas, tal como a redução da subjetividade dos especialistas (Noronha et al., 2022). Em suma, o presente artigo irá utilizar modelos supervisionados e de autorregressão, de modo a buscar previsões de futuras falhas nos equipamentos e testar sua eficácia na área de Gestão da Manutenção.

2.2.1. Modelo Autoregressivo de Média Móvel Integrada (ARIMA)

O ARIMA (*Autorregressive Integrated Moving Average*) tem como principal finalidade compreender o comportamento da correlação e analisar similaridades entre valores de uma série de tempo imposta, com base no comportamento destes dados para determinar previsões futuras. (Box et al., 2015). Desta forma, de acordo com Borsato & Corso (2019), os modelos de previsão ARIMA são utilizados em análises de dados temporais com padrões fortes de sazonalidade. O modelo ARIMA seria uma combinação dos modelos estatísticos AR (Autorregressivo), I (Integrado), Média Móvel (MA).

De acordo com Wang & Tang (2020) e Barret (2021), o ARIMA consegue ter a seguinte combinação de outras previsões:

AR: Autoregressão (p). Um modelo que usa a relação de dependência entre uma observação e algum número de observações defasadas. Sendo representada pela Equação 1.

$$X_t = c + a_1X_{t-1} + a_2X_{t-2} + \dots + a_pX_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Onde X_t representa processo estacionário, c é uma constante, a_i são os coeficientes de autocorrelação na defasagem i e ε_t representa o erro residual.

I: Integrado (d). O uso da diferenciação de observações brutas (por exemplo, subtrair uma observação de uma observação na etapa de tempo anterior) para tornar a série temporal estacionária. Nos modelos ARIMA, diferenciações acima ou abaixo do esperado podem levar a problemas na análise.

MA: Média móvel (q). Um modelo que usa a dependência entre uma observação e um erro residual de um modelo de média móvel aplicado a observações defasadas. O modelo pode ser expresso pela fórmula:

$$X_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_{t-q} \quad (2)$$

Onde μ é a média da série, θ_q são os coeficientes do modelo de média móvel e ε_t representa o erro residual.

A combinação do AR (p) e MA (q) cria um modelo ARIMA de ordem (p,q) que consegue ser expresso pela equação reduzida descrita abaixo:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i B^i X_t + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i B^i \varepsilon_t \quad (3)$$

Onde B representa o operador de defasagem (*backshift operator*); c é a constante do modelo; a_i são os coeficientes do componente autorregressivo; ε_t é o erro residual; θ_i são os coeficientes do componente de média móvel.

O método ARIMA pode ser separado em três etapas: Identificação, Estimação e Checagem de Diagnóstico. Na primeira etapa, é realizada a plotagem de gráficos, autocorrelações totais ou parciais, buscando estimar valores apropriados para (p, d, q). Na segunda etapa, μ e θ usam técnicas de máxima verossimilhança e *backcasting*. Ao final, o modelo é ajustado e precisa ser verificado as defasagens considerando as autocorrelações das séries residuais (Box et al., 2015).

Conforme Matos (2024), a função AutoArima pode gerar modelos ARIMA, que são, portanto, modelos SARIMA, ou seja, Modelos Auto-Regressivos Integrados de Médias Móveis Sazonais. Esse modelo, basicamente, incorpora componentes sazonais aos modelos ARIMA integrando características autoregressivas, de médias móveis e sazonais para identificar e prever padrões em séries temporais. A forma geral do modelo SARIMA é SARIMA(p, d, q) (P, D, Q, s), em que p, d, q são os parâmetros do modelo ARIMA (não sazonais); P, D, Q são os parâmetros sazonais, correspondendo ao SARIMA; s é o período sazonal.

De acordo com Koyuncu et al. (2021) representa a fórmula geral do SARIMA na equação 4.

$$\Phi_p(B^s) \cdot \Delta^d \cdot \Delta_s^D y_t = \theta_q(B) \cdot \varepsilon_t \quad (4)$$

Onde y_t é a série temporal observada; B é o operador de defasagem; Δ^d representa a diferenciação regular de ordem d ; Δ_s^D é a diferenciação sazonal de ordem D ; $\Phi_p(B^s)$ é o polinômio autoregressivo sazonal de ordem P com defasagem sazonal s ; $\theta_q(B)$ é o

polinômio de médias móveis de ordem Q e ϵt é o erro branco (resíduo) no tempo t .

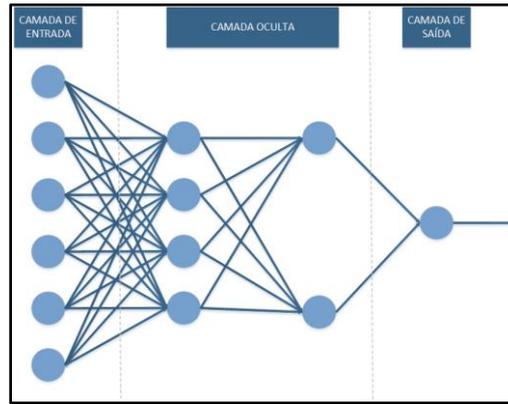
O modelo ARIMA apresenta algumas vantagens, dentre elas o uso de ambiente de aprendizado, a independência entre o tamanho da amostra e custo de armazenamento, sua principal característica por ser univariado e linear. Entretanto, o ARIMA possui desvantagens para prever com confiabilidade e a precisão do modelo a depender da subjetividade e experiência do usuário (Kontopoulou et al., 2023). Diante deste exposto, apesar das vantagens de ser um modelo mais simples e com análise mais isoladas, para este estudo será fundamental analisar outros modelos ao estudo, visto que a previsão precisa ser mais assertiva e ajustada ao modelo, neste caso, sendo o mais indicado o métodos de aprendizado de máquinas, dentre os quais estão selecionados o MLP e LSTM.

2.2.2. Redes Neurais Multicamadas (MLP)

As Redes Neurais Multicamadas (MLP) são classificadas como algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado, ao qual aprende um aproximador de função não linear. A MLP é uma rede neural *feedforward*, capaz de distinguir padrões não linearmente separáveis, consistindo de vários nós denominados como neurônios, tais neurônios são interligados entre camadas, desse modo, qualquer função dada pode ser aproximada por um MLP com camada oculta e nós suficientes (Mishra & Huhtala, 2019).

Segundo En et al. (2018), uma Rede Neural Artificial é composta por três camadas. A primeira é a camada de entrada (*feedforward*), a segunda é a camada intermediária ou oculta, que organiza os dados, e a terceira é a camada final, responsável pela saída do processo. O procedimento começa com a alimentação do algoritmo com entradas, pesos e tendências para calcular as saídas. Tal processo é representado na figura 3.

Figura 3 - Abordagem de uma Estrutura de RNA



Autor: Adaptado de Mishra & Huhtala (2019)

De acordo com Buabeng et al. (2021), o MLP pode ser separado em 3 equações das camadas que compõem essa previsão. Inicialmente, as somas ponderadas da Camada de Entrada são estimadas usando a Equação 5.

$$s_j = \sum_{i=1}^n (W_{ij} \cdot X_i) - \theta_j \quad (5)$$

Onde X_i é o recurso de entrada i com n número de nós de entrada, W_{ij} é o peso que conecta o nó i da camada de entrada e o nó j da camada oculta de neurônio(s). O viés do nó oculto j é indicado como θ_j .

As estimativas da Camada Oculta sendo representada pela equação 6:

$$S_j = \frac{1}{(1 + \exp(-s_j))} \quad (6)$$

Onde $\exp(-s_j)$ representa a exponencial da camada de entrada.

Com base no resultado da Camada Oculta (S_j), a Camada de Saída é estimada por meio das equações 7 e 8.

$$o_k = \sum_{j=1}^h (w_{jk} \cdot S_j) - \theta'k \quad (7)$$

$$O_k = \frac{1}{(1 + \exp(-o_k))} \quad (8)$$

Onde W_{jk} é o peso que conecta o nó j da camada oculta e o nó k da camada de saída. O viés do nó oculto k é indicado como $\theta'k$.

Pode-se entender que para um determinado número de entrada, a saída final da rede neural depende das estimativas dos pesos e polarizações, dessa forma, encontrar boas estimativas para os pesos e defasagens é fundamental para obter boas relações entre as entradas e saídas do processo (Buabeng et al., 2021).

Alguns estudos como Rudenko et al. (2019) e Khalilov (2021), apontam que Redes Neurais Artificiais possuem algumas vantagens, dentre elas em serem capazes de aprender e reproduzir resultados mesmo com informações incompletas, possuir força numérica que permite realizar mais de uma tarefa ao mesmo tempo, além de ter uma característica que torna as redes tolerantes as defasagens do modelo.

Em resumo, com este tipo de Rede Neural Artificial, será possível determinar a previsão da quantidade de manutenções, além disso, por ser um método avançado, será utilizado como comparativo dentre os modelos investigados para verificar quais possuem melhor precisão para os dados inseridos e analisados nesta pesquisa.

2.2.3. LSTM (*Long Short-Term Memory*)

As Redes de Memória de Longo Prazo (LSTM) são um tipo de rede neural recorrente (RNN) no qual possuem capacidade para resolver problemas de aprendizado com dependências temporais de longo prazo (Kim & Choi, 2021). Segundo Cunha (2021), o modelo LSTM consegue obter características relevantes dos dados de entrada e preservar as informações por longos períodos de tempo e, durante o processo de treinamento, é realizada a escolha entre excluir ou preservar as informações com base nos valores dos pesos.

Conforme Chen et al. (2021) e Cunha (2021), o LSTM tem uma arquitetura que consiste em reter dados e manipular por meio de três portões (gates): *forget gate*, *input gate* e *output gate*.

$$i_t = \sigma(W_{ih}[h_{t-1}], W_{ix}[x_t], b_i) \quad (9)$$

$$C_t = \tanh(W_{ch}[h_{t-1}], W_{cx}[x_t], b_c) \quad (10)$$

$$f_t = \sigma(W_{fh}[h_{t-1}], W_{fx}[x_t], b_f) \quad (11)$$

$$o_t = \sigma(W_{oh}[h_{t-1}], W_{ox}[x_t], b_o) \quad (12)$$

$$h_t = o_t \star \tanh(C_t) \quad (13)$$

Onde t : tempo atual; $t-1$: tempo anterior; C : estado da célula; W : matriz de pesos; f_t : porta de esquecimento; i_t : porta de entrada; o_t : porta de saída; b : viés; x_t : entrada; h_t : saída; \tanh : função de ativação tangente hiperbólica; σ : função de ativação sigmoide

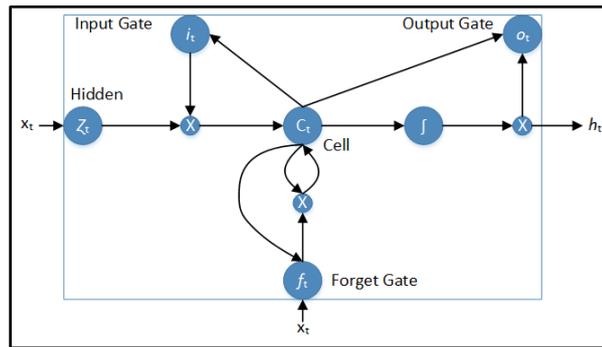
O portão de Entrada (*Input Gate*): tem a função de determinar se novos dados serão adicionados ao estado da célula C_t . Esse processo começa com a aplicação da função sigmoide (σ), que filtra os valores de entrada da célula x_t e h_{t-1} para identificar quais precisam ser atualizados. Em seguida, após os valores de entrada e a aplicação da função \tanh (que gera valores entre -1 e 1), são calculados os novos valores a serem incorporados à memória da LSTM. A equação 9 representa matematicamente o processo do portão de entrada, enquanto processo de atualização dos novos dados a serem inseridos à memória do LSTM pela equação 10.

O portão de Esquecimento (*Forget Gate*): tem a responsabilidade de identificar e remover os dados que não são mais relevantes para o processo. Para isso, a entrada x_t no instante t e a saída da célula no instante anterior h_{t-1} são combinadas por meio de uma multiplicação com os valores da matriz de pesos correspondentes, seguida pela adição do *bias*. Por fim, é aplicada uma função de ativação que gera uma saída binária (0 ou 1), indicando quais dados serão descartados. Assim representado pela equação 11.

O portão de Saída (*Output Gate*): tem a função de extrair as informações relevantes do estado atual para apresentá-las como saída. Um vetor de valores é gerado por meio da aplicação da função \tanh , enquanto, em paralelo, os dados a serem mantidos x_t e h_{t-1} são processados pela função sigmoide (σ). Os valores deste vetor são então multiplicados pelos dados filtrados, resultando na saída h_{t-1} , que também servirá como entrada para a próxima célula. As equações 12 e 13 representam respectivamente a saída do portão e a saída da célula no tempo t .

A estrutura do LSTM é demonstrada na Figura 4 que evidencia sua abordagem.

Figura 4 - Abordagem de uma Estrutura de LSTM



Autor: Adaptado de Zhang et al. (2016)

De acordo com Palangi et al. (2016), os algoritmos de redes neurais recorrentes (RNN) e redes LSTM têm bom desempenho com dados sequenciais, dados de séries temporais com dependências que duram longos períodos, ou seja, o LSTM-RNN possuem um desempenho superior a vários métodos de previsão. Além disso, Cui et al. (2016) e Xing et al. (2022) retratam que o LSTM pode ser treinado com para longo e curto prazo com bons indicadores de acurácia em seus dados.

Dessa forma, o LSTM, por se tratar de um método de previsão mais avançado, permitirá prever a quantidade de manutenções. Além disso, será utilizado como comparativo dentre outros modelos aqui apresentados para identificar a precisão na investigação das falhas.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este artigo apresenta um estudo de caso que combina algoritmos de computador com a interface humano/computador. Segundo Hevner et al. (2004), a pesquisa científica deve gerar uma solução prática para problemas empresariais. A solução criada precisa ser avaliada quanto à sua eficácia, ter uma contribuição clara e seguir uma metodologia bem definida, com resultados comunicados de forma eficiente tanto para o setor empresarial quanto para o tecnológico (Khalid et al., 2021).

A definição de um estudo de caso pode ser baseado na perspectiva de Dumez (2015, p. 44), no qual caracteriza-se por ser um fenômeno contemporâneo inserido em seu contexto real. Quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente

delimitadas, o estudo de caso pode ser utilizado como uma ferramenta para testar hipóteses. (Flyvbjerg, 2006).

A metodologia proposta nesta pesquisa busca estimar com precisão a quantificação de números no setor de manutenção, tais estimativas são um desafio nos quais requerem um estudo de caso com análises aprofundadas e minuciosas. Deste modo, o estudo aborda uma empresa portuária que detém dados de manutenção de suas Ordens de Serviço (O.S.), toda esta base é consolidada em um sistema próprio da empresa que inclui informações como data, equipamento, horas de manutenção e tipo de manutenção.

Durante o pré-processamento dos dados, foi realizada uma seleção de dados relevantes para o estudo e a manipulação para que sejam facilmente visualizados para análise, os dados faltantes foram tratados com técnicas como interpolação, e padrões sazonais poderão ser identificados por meio de análise estatísticas e de aprendizado. Variáveis foram normalizadas quando necessário para facilitar a modelagem.

Durante a aplicação, modelos estatísticos (ARIMA) e de aprendizado de máquina (MLP, LSTM) serão objetos de estudo desta pesquisa para prever a quantidade de manutenções não emergenciais. E por fim, testes de treinamento e validação e os modelos comparados com base em métricas como RMSE, MAE e MSE para identificar qual o nível de precisão destes dados para os diferentes modelos aplicados.

3.1 ESCOPO DA EMPRESA

A empresa analisada atua no setor de logística de cargas projetos e mercadorias, com uma capacidade anual de aproximadamente 2,5 milhões de movimentações. Localizada na região litorânea do Paraná, ela atende à demanda do mercado portuário há várias décadas. Para a realização desta pesquisa, contou-se com o apoio da empresa, que terá o nome em sigilo, disponibilizando parte dos dados referentes ao seu setor de manutenção para que as análises do estudo pudessem ser realizadas.

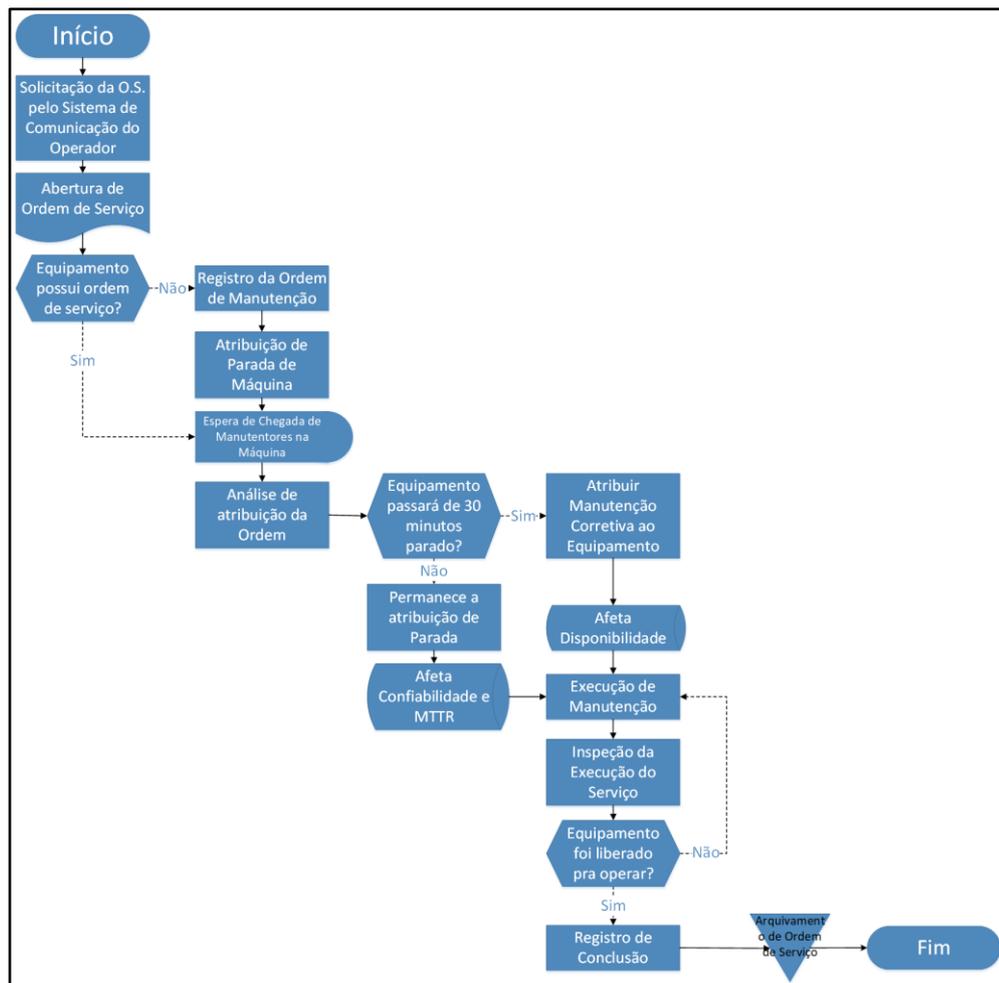
A empresa possui em torno de cinco tipos de equipamentos para suas operações, dispondo de aproximadamente 123 equipamentos ao total, cerca de 5 famílias com classes diferentes em sua operação. Entretanto, por mais que tivessem o registro das ordens de paradas das máquinas em seu sistema, não possuíam um controle e direcionamento adequado para mão de obra, além de que buscavam diminuir a quantidade de Manutenções Corretivas Não Planejadas por Manutenções Preventivas a fim de reduzir

custos pelas quebras das máquinas.

A empresa dispunha de um software de gestão de manutenção para registro de suas O.S., além disso, todas as informações eram registradas para que pudessem ter um melhor controle das informações e operações que eram realizadas no terminal.

Com relação ao processo de recebimento das O.S. solicitadas pelos operadores das máquinas, está ilustrada na Figura 5 um fluxograma de como é feito todo o procedimento pela empresa.

Figura 5 - Fluxograma de Processo da Solicitação de Ordens de Serviço.



Autor: Elaborado pelo Autor (2024)

Os dados diários referentes às O.S. foram coletados ao longo de um período de 5 anos. As fontes de dados incluíram um sistema interno de gestão de manutenção, cujo nome será mantido em sigilo devido a políticas de confidencialidade da empresa. Tal sistema é utilizado para gerenciar as atividades, fornecendo um banco de dados com

informações relevantes e pertinentes ao setor de manutenção. Essas informações foram essenciais para a análise ao longo do período estudado.

A empresa possui métricas de Disponibilidade, Confiabilidade e Tempo Médio para Reparo (MTTR) como parte de sua estratégia de gestão. Contudo, mesmo com essas métricas em uso, há uma busca por aprimorar o desempenho destes equipamentos e reduzir a frequência de falhas. De modo a minimizar o impacto negativo que as falhas ocasionam na operação, garantindo maior eficiência em seus processos produtivos.

A disponibilidade é a probabilidade de um sistema estar pronto para realizar uma tarefa quando solicitado (Carvalho, 2019). A confiabilidade, segundo Rosa (2019), está relacionada à probabilidade de um ativo operar sem falhas. Já o Tempo Médio de Reparo (MTTR) está ligado à facilidade e eficiência na manutenção do equipamento, sendo ideal que o MTTR seja o menor possível para aumentar a disponibilidade (Azevedo, 2021).

Deste modo, uma melhora nas performances de Disponibilidade e Confiabilidade dos equipamentos asseguram a continuidade do processo operacional e evita interrupções inesperadas que causem atrasos nos prazos de entregas e altos custos financeiros para a empresa.

Assim, os tópicos a seguir irão abordar algumas análises a fim de auxiliar a empresa a direcionar mão de obra, antecipar a ocorrência às falhas existentes, aumentar a quantidade de Manutenções Preventivas para redução de custos de manutenção e melhora na performance das métricas de Disponibilidade e Confiabilidade nos equipamentos.

3.2 COLETA, ANÁLISE E PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS

Os dados coletados referem-se à quantidade de paradas diárias dos equipamentos ao longo de um ciclo de 24 horas, abrangendo o período das 00:00 às 23:59. A coleta foi realizada entre 19 de janeiro de 2019 e 12 de setembro de 2024. Compreende a categoria de dados coletados as Ordens de Serviço que estão enquadradas como Corretivas Não Planejadas, Paradas e Acidentes, foram definidos estas classificações para coleta dos dados para o estudo.

A empresa opera 24 horas por dia durante 365 dias ao ano, sendo uma empresa em constante operação.

Os dados foram escalonados e os modelos de previsão foram aplicados e

analisados por meio da linguagem *Python* que auxiliou no processo da investigação das previsões.

Para uma melhor visualização dos dados, foi necessário realizar o escalonamento dos dados para a plotagem dos modelos. Além disso, houve um tratamento de *Outliers* nos dados para que o modelo pudesse ser gerado com melhor precisão e seleção, neste caso, foi usado o Intervalo Interquartil (IQR), sendo um dos métodos mais usados para tratamento de outliers em modelos de previsões.

O IQR busca avaliar a dispersão no conjunto de dados, neste caso, ele define o Primeiro Quartil como 25% dos dados enquanto o Terceiro Quartil como 75%. A Equação 14 é responsável por identificar os outliers, além de ser útil para entender a dispersão dos dados (Yang et al., 2019)

$$IQR = Q3 - Q1; Máx = (Q3 + 1,5 * IQR); Min = (Q1 - 1,5 * IQR) \quad (14)$$

Foi necessário conduzir uma análise preliminar para identificar a presença de variabilidade, bem como a tendência e sazonalidade na série temporal. Quando uma série temporal apresenta comportamento aleatório, as autocorrelações tendem a oscilar em torno de zero. No entanto, a presença de tendência ou sazonalidade pode resultar em uma diminuição gradual das autocorrelações ou na ocorrência de picos positivos. Caso seja identificada uma tendência na série, torna-se necessário aplicar a diferenciação para remover esse componente e, posteriormente, realizar uma nova análise preliminar da série transformada. Esse procedimento pode ser repetido até que a série se torne estacionária.

Para validar a remoção da tendência, foi aplicado o Teste de *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF), proposto por Dickey e Fuller (1979), que verifica a estacionariedade da série por meio das seguintes hipóteses estatísticas:

H0: O processo não é estacionário (hipótese nula);

H1: O processo é estacionário (hipótese alternativa).

O resultado do teste é avaliado por meio do p-valor, que é comparado com um nível de significância predefinido ($\alpha = 0,05$). Se o p-valor for inferior a 0,05, há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula, indicando que a série pode ser considerada estacionária. Caso contrário, não há indícios suficientes para rejeitar H0, sugerindo que a série continua não estacionária.

Em resumo, após a definição do pré-processamento e a seleção dos dados, esta etapa terá como objetivo determinar o horizonte de previsão, além de verificar a presença de autoregressão, avaliar a estacionariedade dos dados e identificar possíveis ruídos brancos.

3.3 AJUSTE DOS MODELOS DE PREVISÃO E VALIDAÇÃO

Neste estudo, foi necessário estabelecer um horizonte de previsões para os modelos, deste modo, ele refere-se a um período de tempo no futuro para projeção da previsão. Segundo Petchey et al. (2015), definir diferentes horizontes de previsão pode impactar diretamente na precisão, um longo horizonte de previsão pode indicar boas habilidades de previsão, enquanto os curtos horizontes podem indicar previsões mais fracas. Deste modo, definiu-se os seguintes valores: 1, 7, 14, 21 e 28 dias.

Para critério de validação dos dados, o modelo de decomposição em série foi utilizado para verificar a sazonalidade, tendência e ruído. Prema & Rao (2015) enfatizam que é possível decompor os dados da série temporal em vários subcomponentes para ver como esses componentes afetam os dados da série.

De acordo com Prasetyo et al. (2018), a Função de Autocorrelação (ACF) é um determinante para identificar se os dados têm propriedades estacionárias, aleatórias e sazonais, usado normalmente para identificar a Média Móvel (q). Para Zhang & Meng (2023), a Função Parcial de Autocorrelação (PACF) é um determinante do grau de relacionamento entre os valores atuais e valores anteriores de tempo, usado para determinar a Autoregressão (p). Conforme ArunKumar et al. (2021), a fórmula do ACF e PACF estão expressas pelas equações 15 e 16.

$$ACF (y_t, y_{t-k}) = \frac{covariância(y_t, y_{t-k})}{variância (y_t)} \quad (15)$$

$$PACF (y_t, y_{t-2}) = \frac{covariância(y_t, y_{t-2} | y_{t-1})}{\sqrt{variância(y_t | y_{t-1})} \sqrt{variância(y_{t-2} | y_{t-1})}} \quad (16)$$

Onde: k: defasagem definida como a diferença entre y_t e y_{t-k} . A autocorrelação de defasagem k: correlação entre as observações que estão separadas por k períodos de tempo. PACF: entre duas observações y_t e y_{t-2} (supondo $k = 2$)

3.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

A avaliação do desempenho dos métodos de previsão é realizada por meio de métricas que indicam o grau de proximidade entre os valores previstos e os valores reais observados. Dentre as métricas mais utilizadas para validação da precisão dos modelos estão o Erro Médio Absoluto (MAE), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE) e Erro Quadrático Médio (MSE) (Zhang & Meng, 2023; Zhou et al., 2018; Ostertagová & Ostertag, 2012).

O MAE fornece uma indicação do grau de dispersão em que os erros recebem pesos iguais, quanto melhor ajustado aos dados, seu valor será menor ou próximo de zero. O MSE também fornece uma indicação do grau de dispersão, neste caso eles recebem peso adicional, avaliando a suavização exponencial, quando melhor ajustado aos dados, seu valor será menor ou próximo de zero. O RMSE é a raiz do MSE, entretanto esse modelo enfatiza mais os grandes erros, quando melhor ajustado aos dados, seu valor será menor ou próximo de zero. (Cunha, 2021; Ostertagová & Ostertag, 2012; Ryu & Sanchez, 2003). As equações 17, 18 e 19 representam o cálculo matemático destas métricas de erros.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\hat{y}(t) - y(t))^2} \quad (17)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |\hat{y}(t) - y(t)| \quad (18)$$

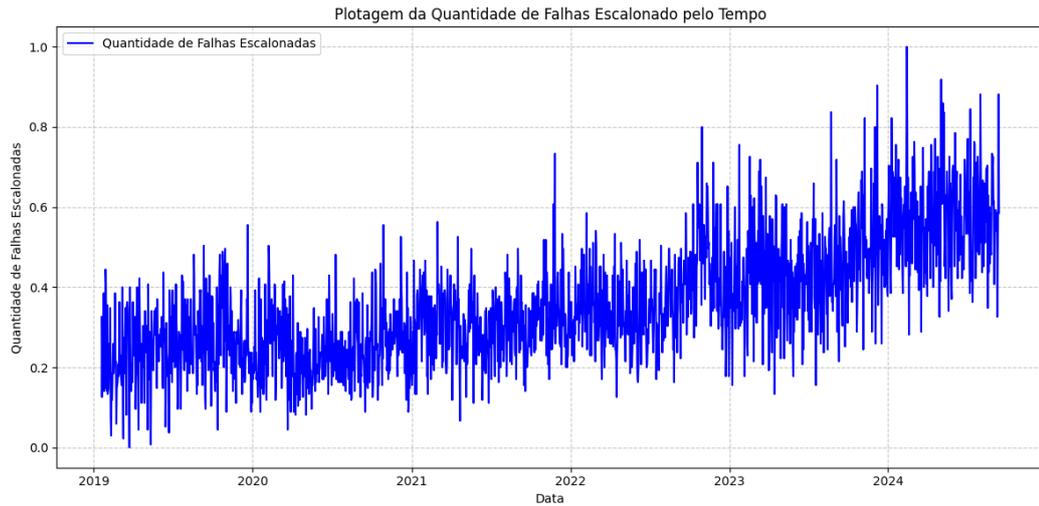
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\hat{y}(t) - y(t))^2 \quad (19)$$

Onde: \hat{y} : resultado da previsão no momento t , $y(t)$: valor real no no momento t , N : número total de amostras do conjunto de dados para teste utilizado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, após realizar o processo de seleção, tratamento e filtragem adequado na base consolidada, durante o período de 19 de janeiro de 2019 a 12 de setembro de 2024, obtivemos um total de 2064 dados. A Figura 6 ilustra um gráfico da quantidade de O.S. com relação ao período de 2019 a 2024 na pesquisa.

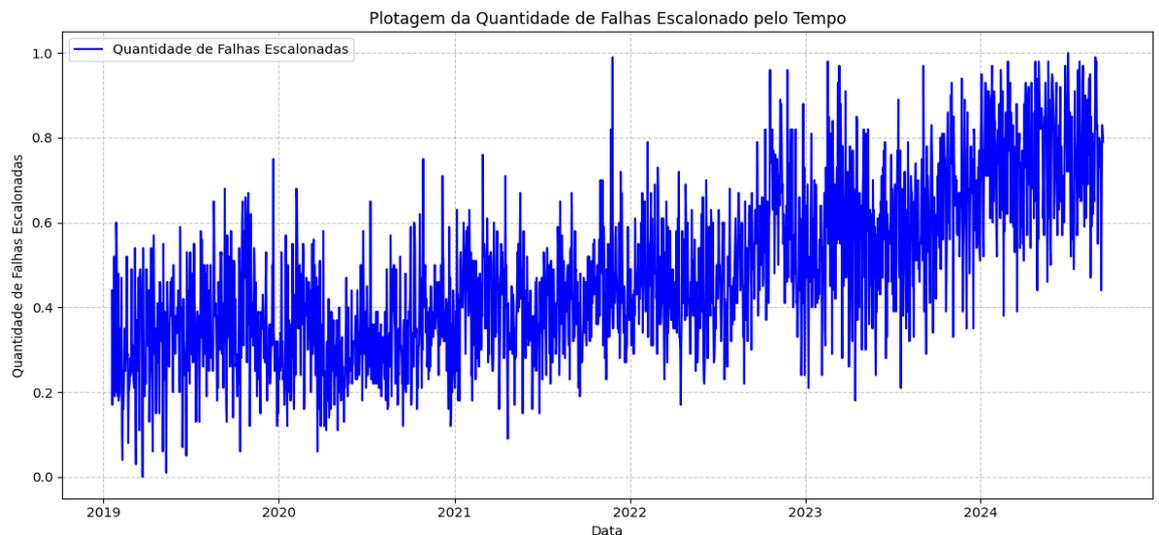
Figura 6 - Plotagem da Quantidade de Falhas Escalonado SEM tratamento de outliers.



Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Conforme exposto, foi realizado o tratamento de *outliers* IQR, que resultou ao valor de 27 com limite superior igual a 101 e limite inferior igual a -6. A Figura 7 demonstra como ficou a plotagem dos dados após realizado o tratamento de *outliers* com o Intervalo Interquartil (IQR)

Figura 7 - Plotagem da Quantidade de Falhas Escalonado COM tratamento de outliers.



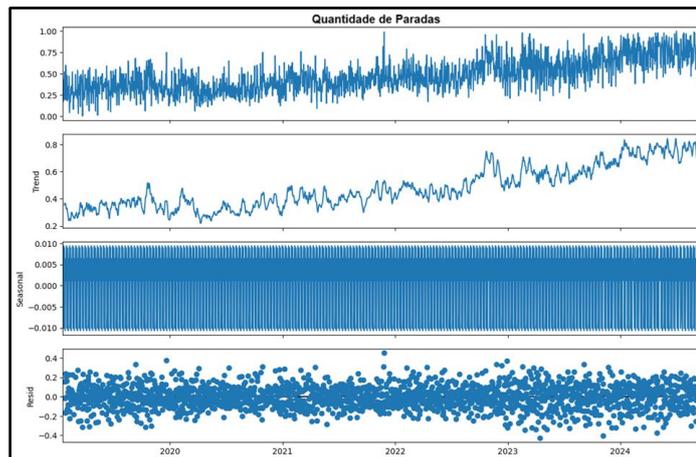
Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Em resumo, obteve-se um total de 2040 dados para analisar, tendo 24 dados que foram excluídos pois ultrapassaram o limite superior estabelecido.

Com relação a Decomposição em Série dos dados, é possível notar que na primeira parte do gráfico, observa-se os dados coletados, no segundo gráfico a tendência do

modelo, no terceiro gráfico a sazonalidade, e por último, a dispersão de ruídos presentes na base de dados. Evidencia-se que existe um padrão de tendência crescente nos dados analisados, além disso, existe uma sazonalidade aproximada entre eles, e por fim, ruídos que mostram uma variabilidade maior na quantidade de falhas ocorridas. Essas informações estão representadas na Figura 8.

Figura 8 - Decomposição em Série da Quantidade de Paradas



Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Dessa forma, observa-se uma tendência crescente no número de falhas, além da presença de sazonalidade. Isso indica que a ocorrência de falhas na empresa tende a aumentar, resultando em um maior número de paradas dos equipamentos e, conseqüentemente, em custos elevados com relação a manutenções corretivas não planejadas. Além disso, a dispersão dos ruídos sugere que os dados são sensíveis e apresentam alta variabilidade, o que pode impactar na precisão das previsões.

4.1. Resultados do ARIMA

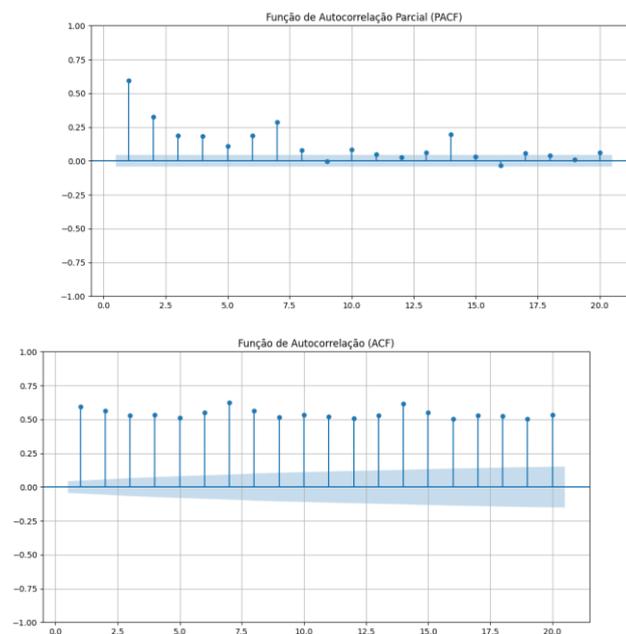
No modelo ARIMA, foi necessário definir os parâmetros iniciais para realização de sua previsão. Primeiramente, definiu-se a divisão dos dados em 70% treinamento e 30% teste para que pudesse ser gerado os resultados. Além disso, foi evidenciado por meio da Decomposição em Série de que o modelo de dados era não estacionário, visto que possui tendência crescente, sazonalidade presente e variabilidade nas defasagens.

Para afirmar essa hipótese, aplicou-se o teste de *Augmented Dickey-Fuller* (ADF), o teste ADF é responsável por evidenciar a hipótese nula de raiz unitária, ou seja, se a

série é estacionária ou não. Como o p-valor de 0.4505 é maior que 0.05, não rejeitamos a hipótese nula, indicando que a série pode apresentar tendência ou sazonalidade. O valor de estatística do teste resultou em -1.6626 , deste modo, os valores críticos 1%: -3.4336 , 5%: -2.8630 e 10%: -2.5675 demonstram ser maiores, reforçando a série não estacionária. Evidenciando, desse modo, que há necessidade de diferenciação no modelo ($d=1$).

Já na Figura 9 que mostra a plotagem do PACF e ACF, pode ser observado que no PACF apresenta um corte nos lags, indicando componente autorregressivo ($p=1$). No caso do ACF, não possui um corte brusco do lag, indicando não estacionário, sugerindo componente de média móvel ($q=1$).

Figura 9 - Plotagem da Autocorrelação Parcial (PACF) e Autocorrelação (ACF)



Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Nesse caso, o ARIMA precisou ser ajustado para uma ordem (p, d, q) equivalente a $(1,1,1)$, em que o AutoARIMA avaliou como o melhor ajuste a ser implementado neste modelo, conforme a figura 10.

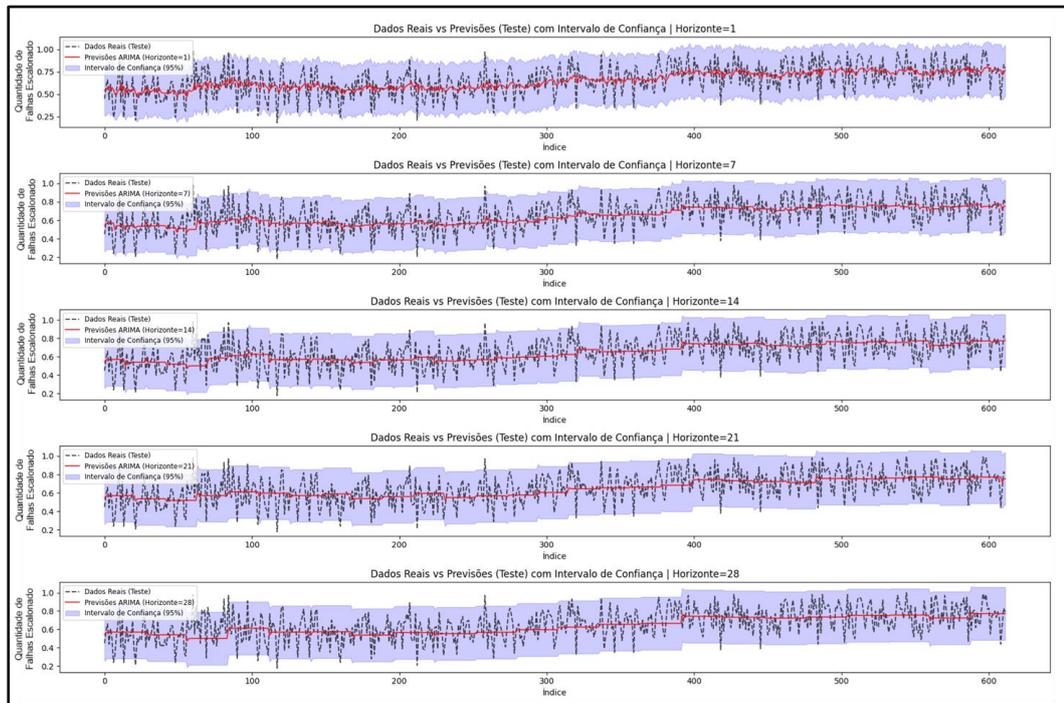
Figura 10 - Ordem de ajuste do AutoArima

```
ARIMA(1,1,1)(1,0,1)[12] : AIC=16147.316, Time=2.09 sec
Best model: ARIMA(1,1,1)(1,0,1)[12] intercept
Total fit time: 169.745 seconds
```

Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Dessa forma, compreende-se que o modelo está ajustado para realizar a previsão do ARIMA, podendo ser ilustrado o comportamento do modelo e o resultado de sua previsão na Figura 11, variando conforme o horizonte de previsão.

Figura 11 - Plotagem da previsão utilizando dados de teste gerados pelo modelo ARIMA.



Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Quanto às métricas de desempenho utilizando dados de teste, o horizonte de previsão 7 indica melhor precisão com relação aos outros horizontes, com o MSE (0,0211), RMSE (0,1451), MAE (0,1162) consideravelmente mais baixos. Conforme mostrado no Quadro 1.

4.2. Resultados do MLP

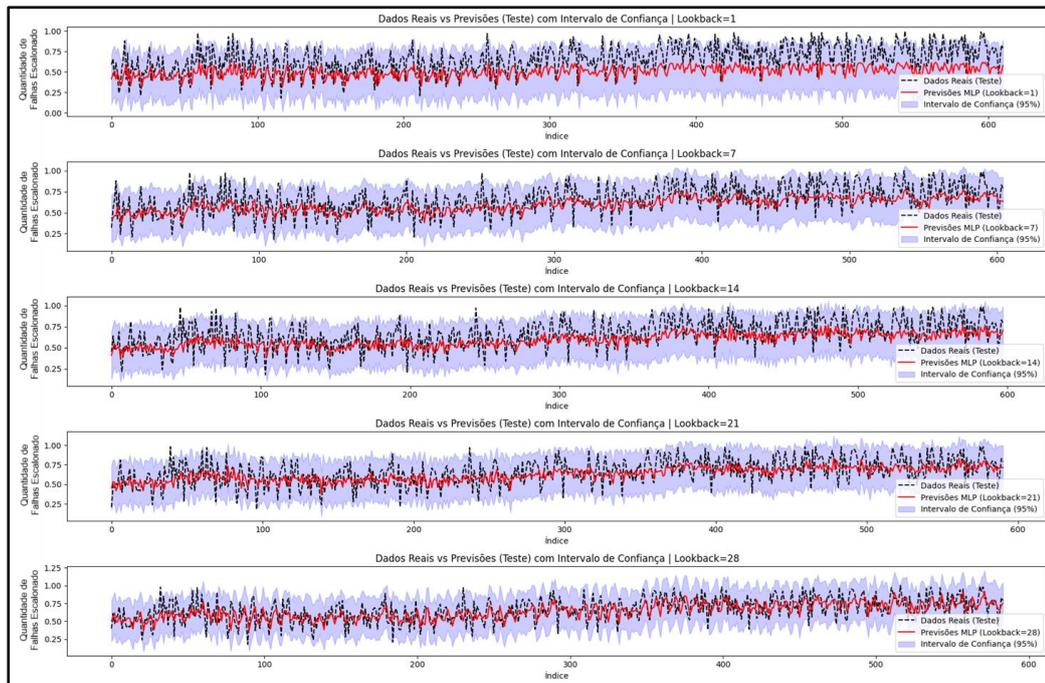
No modelo MLP, foi necessário definir os parâmetros iniciais para realizar a sua previsão. Primeiramente, estipulou-se uma separação dos dados em 70% de treinamento e 30% de teste para garantir a reprodução dos resultados.

Nas camadas do MLP, foram adicionadas 2 camadas ocultas, de modo que, a primeira tivesse 64 neurônios sendo responsáveis por aprender os dados de entrada. Dentro destas, foram utilizadas a função RELU (*Rectified Linear Unit*) que busca acelerar

o treinamento e introduzir não linearidades. Logo em seguida, uma camada de dropout para evitar o sobreajuste. Durante o treinamento, 20% dos neurônios serão desativados aleatoriamente em cada iteração. E por fim, mais uma última camada de 32 neurônios com os mesmos componentes da primeira camada.

Foi compilado o otimizador ADAM (*Adaptive Moment Estimation*) que ajusta os pesos do modelo com base em gradientes e momentos adaptativos. Além disso, definiu-se a função de perda como o Erro Quadrático Médio (MSE), que é comum em problemas de regressão, no qual penaliza diferenças grandes entre as previsões e os valores reais. Assim, entende-se que o modelo foi ajustado para realizar a previsão com o MLP, permitindo ilustrar seu comportamento e os resultados obtidos na Figura 12, de acordo com a variação do horizonte de previsão.

Figura 12 - Plotagem da previsão utilizando dados de teste gerados pelo modelo MLP.



Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Quanto às métricas de desempenho utilizando dados de teste, o horizonte de previsão 21 indica melhor precisão com relação aos outros horizontes, com o MSE

(0,0086), RMSE (0,0926) e MAE (0,0718) consideravelmente mais baixos. Conforme mostrado no Quadro 1.

4.3. Resultados do LSTM

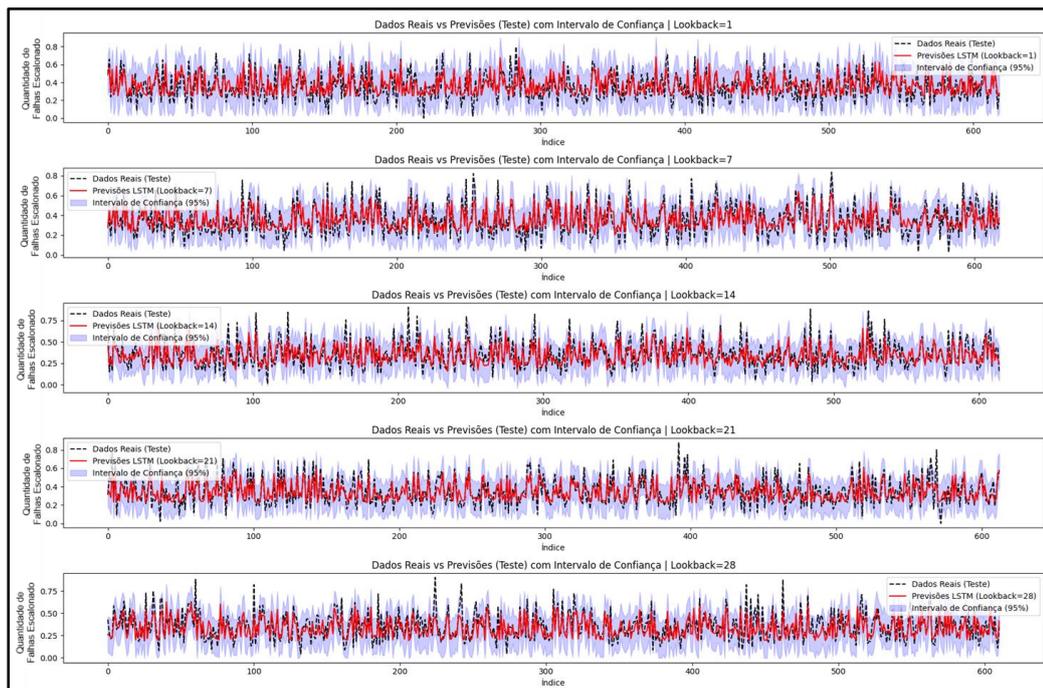
Assim como nos outros modelos, no LSTM também foi necessário definir os parâmetros iniciais para realizar a sua previsão. Primeiramente, estipulou-se uma separação dos dados em 70% de treinamento e 30% de teste para garantir a reprodução dos resultados.

Nas camadas do LSTM, a inicialização cria um modelo sequencial, no qual as camadas são adicionadas em sequência. Foi colocada apenas uma camada de 64 neurônios para processar informações sequenciais, retendo dependências temporais dos dados. Dentro desta camada, também foi utilizado a função RELU que ajuda a introduzir não linearidades no aprendizado.

Foi configurado também o mesmo otimizador ADAM que ajusta os pesos da rede com base em gradientes adaptativos. Além disso, a taxa de aprendizado fixa em 0.01, que controla a magnitude dos ajustes. E por fim, a função de perda como o MSE, apropriada para problemas de regressão.

Com relação ao treinamento do LSTM, o modelo teve a configuração de épocas em que os dados completos foram vistos 100 vezes durante o treinamento, outro ajuste é com relação ao processamento em mini-lotes de 16 amostras antes de atualizar os pesos. Ao final, foi reservado 20% dos dados de treinamento para validação, o que permite avaliar o desempenho do modelo durante o treinamento. Dessa maneira, conclui-se que o modelo foi ajustado para realizar a previsão com o LSTM, a ilustração de seu desempenho e dos resultados estão previstos na Figura 13, variando conforme o horizonte de previsão.

Figura 13 - Plotagem da previsão utilizando dados de teste gerados pelo modelo LSTM.



Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Quanto às métricas de desempenho utilizando dados de teste, o horizonte de previsão 21 indica melhor precisão com relação aos outros horizontes, com o MSE (0,0081), RMSE (0,0903) e MAE (0,0701) consideravelmente mais baixos. Conforme mostrado no Quadro 1.

4.4. Métricas e Discussões

Assim, o Quadro 1 apresenta de modo geral as métricas de desempenho utilizando dados de teste dos modelos analisados em diferentes horizontes de previsão. Nas células destacadas em verde indicam os melhores resultados, ou seja, aqueles com valores menores ou mais próximos de zero correspondem ao melhor desempenho alcançado. Os resultados mostraram que o horizonte de previsão de 7 dias teve o melhor desempenho no modelo ARIMA, enquanto no MLP, o horizonte de previsão de 21 dias se destacou. Da mesma forma, no LSTM, o horizonte de 21 dias obteve a maior assertividade. Em síntese, observou-se que o modelo de previsão LSTM com horizonte de previsão de 21 dias, foram os melhores classificados para este estudo.

Quadro 1 - Métricas de Desempenho dos Modelos ARIMA, MLP e LSTM

	ARIMA			MLP			LSTM			TESTE
	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE	MAE	
Horizonte 1	0,0211	0,1453	0,1172	0,0128	0,1133	0,0888	0,0130	0,1140	0,0894	
Horizonte 7	0,0211	0,1451	0,1162	0,0888	0,0940	0,0739	0,0095	0,0975	0,0766	
Horizonte 14	0,0216	0,1468	0,1175	0,0099	0,0994	0,0768	0,0101	0,1005	0,0773	
Horizonte 21	0,0211	0,1452	0,1166	0,0086	0,0926	0,0718	0,0081	0,0903	0,0701	
Horizonte 28	0,0219	0,1479	0,1191	0,0099	0,0994	0,0785	0,0110	0,1047	0,0816	

Autor: Elaborado pelo autor (2024)

Com base nos resultados das métricas obtidas na pesquisa, nota-se que o desempenho do LSTM foi muito superior ao do ARIMA e MLP. Os modelos de Redes Neurais Artificiais (LSTM e MLP) apresentaram bons desempenhos, viabilizando sua assertividade nos métodos de previsão, entretanto o modelo de autoregressão (ARIMA) não possuiu o mesmo desempenho eficiente quanto os dois aqui mencionados.

Esta pesquisa pode impactar diretamente com a investigação realizada por Siami-Namini et al. (2018), em que o LSTM consegue ter melhor desempenho com relação ao modelo ARIMA para área financeira. Neste estudo, foi evidenciado que o LSTM obteve um desempenho superior ao ARIMA. Além disso, no estudo realizado por Djerioui et al. (2020), evidencia que o LSTM possui desempenho melhor na previsão na área da saúde. Outro estudo foi realizado por Samii et al. (2023), que retrata a eficácia do modelo LSTM sobre o MLP para estudos de condições meteorológicas, apesar de os dois modelos terem resultados parecidos, o LSTM ainda se mostrou superior.

Já com relação ao setor de manutenção, Peringal et al. (2024), o modelo LSTM demonstrou uma capacidade superior para aprender e prever os complexos padrões de degradação temporal inerentes aos dados operacionais de motores a jato, quando comparado com os outros modelos. MLP tradicionais. Evidencia-se que na literatura existe uma deficiência de estudos voltados a previsão na gestão de manutenção do setor portuário.

Ao entender o resultado desta pesquisa, entende-se que Redes Neurais Artificiais (RNAs) são eficazes ao gerar previsões precisas, aplicáveis a diversas áreas, incluindo o contexto de manutenção de equipamentos. O estudo contribui significativamente para a empresa ao prever a quantidade de falhas nos equipamentos, proporcionando insights valiosos para a tomada de decisões, identificação de fatores de risco e no planejamento

de manutenções preventivas, com o objetivo de reduzir as paradas inesperadas. Já na contribuição teórica, salienta que as RNAs podem ser utilizadas no setor portuário, como também a assertividade que o LSTM possui frente a modelos tradicionais.

Em resumo, para os gestores, essa análise destaca a tendência de aumento nas falhas das máquinas, o que pode acarretar maiores custos com manutenções corretivas não planejadas e riscos mais frequentes à segurança dos trabalhadores durante a operação. Com isso, surge a necessidade de ações como a ampliação do quadro de funcionários para gerenciar as novas ocorrências e o aprimoramento do planejamento de manutenções preventivas, a fim de mitigar os impactos e otimizar a operação.

5. CONCLUSÃO

Pode-se inferir, deste modo, que o LSTM e MLP são modelos que podem ser facilmente utilizados para previsões e garantir boa qualidade nas análises. O objetivo de comparar os modelos de previsões e avaliar sua eficácia foi concluído. Dentre o principal resultado foi com relação ao LSTM ter desempenhado melhor a estimativa e previsão das paradas de máquinas no setor da manutenção, de modo que, seu treinamento/teste e suas métricas de erro foram consideravelmente menores em comparação ao MLP e ARIMA.

Apesar de ser um modelo de abordagem sofisticada, tem ganhado popularidade entre os pesquisadores sobre sua eficácia em diferentes áreas, tais como financeira, saúde, tecnológica, entre outros. Contudo, um problema a ser evidenciado é que, apesar de ser um modelo avançado, possui desvantagens em modelos que possuam poucos dados, podendo superajustar o modelo.

Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciaram a necessidade de abordar uma previsão que pudesse correlacionar essas ocorrências de falhas com condições meteorológicas que, de certa forma, poderiam ser um fator contribuinte para o acontecimento de outras paradas. Diante disso, pressupõe uma avaliação com relação a verificar a influência meteorológica, por meio de dados de estações climáticas que façam captura de variáveis, tais como temperatura, umidade, precipitação e incidência solar.

Como sugestão para futuros estudos, recomenda-se a exploração de outras técnicas de redes neurais artificiais, a área de manutenção acaba sendo bem abrangente, podendo ser muito bem utilizada para exploração de novas técnicas e análises. Além disso, pode ser mesclada o acontecimento das falhas juntamente a uma técnica de análise

de falhas, tal como uma Análise de Modo de Falha e seus Efeitos (FMEA) que pode auxiliar exclusivamente na investigação das causas raízes de falhas com maiores incidências.

REFERÊNCIAS

- ABRAMAN, A. B. de Manutenção e Gestão de A. Situação da Manutenção no Brasil - Documento Nacional. Rio de Janeiro - RJ, 2019. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br>>.
- Almeida, B. G., & Fabro, E. (2019). Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM. *Revista Scientia Cum Industria*, 7(2), 23-39.
- Al Mahdi, H., Leahy, P. G., Alghoul, M., & Morrison, A. P. (2024, January). A Review of Photovoltaic Module Failure and Degradation Mechanisms: Causes and Detection Techniques. In *Solar* (Vol. 4, No. 1, pp. 43-82). MDPI.
- ArunKumar, K. E., Kalaga, D. V., Sai Kumar, C. M., Chilkoor, G., Kawaji, M., & Brenza, T. M. (2021). Forecasting the dynamics of cumulative COVID-19 cases (confirmed, recovered and deaths) for top-16 countries using statistical machine learning models: Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) and Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average (SARIMA). *Applied Soft Computing*, 103, 107161. doi:10.1016/j.asoc.2021.107161
- Azevedo, T. C., Moreira, M. D. M. A. C., Silveira, S. R., Soares, I. N., Nordi, T. M., Sousa, F. S. I. D., & Mosconi, D. (2021). Engenharia de manutenção: uma revisão de indicadores de manutenção e suas inter-relações. *Anais*.
- Barrett, A. (2021). Forecasting the Prices of Cryptocurrencies using a Novel Parameter Optimization of VARIMA Models (Doctoral dissertation, Chapman University).
- Bollen, K. A., Harden, J. J., Ray, S., & Zavisca, J. (2014). BIC and Alternative Bayesian Information Criteria in the Selection of Structural Equation Models. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 21(1), 1–19. doi:10.1080/10705511.2014.856691
- Borsato, R., & Corso, L. L. (2019). Aplicação de Inteligência Artificial e ARIMA na Previsão de Demanda no setor metal mecânico. *Scientia cum Industria*, 7(2), 165-176.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Bozhikov, A. (2012). Business downtime and its impact on business organizations. In *Proceedings of International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE)* (p. 546). International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics and Economy and Education (ICAICTSEE).
- Buabeng, A., Simons, A., Frempong, N.K. et al. A novel hybrid predictive maintenance model based on clustering, smote and multi-layer perceptron neural network optimised with grey wolf algorithm. *SN Appl. Sci.* 3, 593 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04598-1>
- Byrne, T. (2014, June). Humidity effects in substations. In *2014 Petroleum and Chemical Industry Conference Europe* (pp. 1-10). IEEE.
- Carvalho, A. J. D. O. D. (2019). Análise da influência das atividades de operação e manutenção na disponibilidade operacional de um ativo físico (Doctoral dissertation, Instituto Superior de Engenharia de

Lisboa).

Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. de M. N., Vita, R., Francisco, R. da P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 106024. doi:10.1016/j.cie.2019.106024

Chakrabarti, A., & Ghosh, J. K. (2011). AIC, BIC and Recent Advances in Model Selection. *Philosophy of Statistics*, 583–605. doi:10.1016/b978-0-444-51862-0.50018-6

Chen, C., Lu, N., Jiang, B., & Wang, C. (2021). A Risk-Averse Remaining Useful Life Estimation for Predictive Maintenance. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(2), 412–422.

Chiba, G. I., & Luna, M. M. M. (2020). Modelos de séries temporais: a análise da acurácia das previsões da demanda de uma linha de produtos em empresa do setor do vestuário. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, 15(4), 219-219.

Correia, F. E. P. (2016). Sistema para manutenção preventiva de academias de ginástica.

Cui, Y., Surpur, C., Ahmad, S., & Hawkins, J. (2016). A comparative study of HTM and other neural network models for online sequence learning with streaming data. 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). doi:10.1109/ijcnn.2016.7727380

Cunha, B. A. D. (2021). Previsão intra-diária de geração fotovoltaica usando redes neurais recorrentes do tipo LSTM e dados históricos de energia.

Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74(366a), 427-431.

Djerioui, M., Brik, Y., Ladjal, M., & Attallah, B. (2020). Heart Disease prediction using MLP and LSTM models. 2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE). doi:10.1109/icee49691.2020.9249935

Duan, C., Deng, C., & Li, N. (2019). Reliability assessment for CNC equipment based on degradation data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 421-434.

Dumez, H. (2015). What is a case, and what is a case study? *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 127(1), 43-57. <https://doi.org/10.1177/0759106315582200>

En, T. Y., Ki, M. S., Hui, N. T., Jie, T. J., & Vusoff, M. A. B. M. (2018, December). Predictive Maintenance of a Train System Using a Multilayer Perceptron Artificial Neural Network. In 2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT) (pp. 1-5). IEEE.

FARAH, O. E., MARCONDES, L. P., & CAVALCANTI, M. (2018). Empreendedorismo Estratégia de Sobrevivência para Pequenas Empresas. Saraiva Educação SA.

- Faustino, A. W., Rossi, B. F., Altoé, D. R., Santos, J. J. S., Paula, P. R. D., & Oliveira, S. A. (2023). Gestão de riscos e o desempenho operacional: um modelo analítico para o segmento ferroviário de cargas.
- Felix, J. C. (2022). Algoritmos de aprendizado de máquina para previsão de tempo da manutenção de vagões.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219-245. <https://doi.org/10.1177/1077800405284363>
- FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. Confiabilidade e manutenção industrial – Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- General Electric (GE) Oil & Gas. (2016, 10). The Impact of Digital on Unplanned Downtime: An Offshore Oil and Gas Perspective.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- Gressler, F., Seleme, R., de Assis Silva, W., & Marques, M. A. M. (2020). Diagnóstico do grau de maturidade do sistema de gestão orientado para a manutenção 4.0. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 14951-14978.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75-105. <https://doi.org/10.2307/25148625>.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2009). Manutenção-função estratégica. Qualitymark Editora Ltda.
- Khalid, W., Albrechtsen, S. H., Sigsgaard, K. V., Mortensen, N. H., Hansen, K. B., & Soleymani, I. (2021). Predicting maintenance work hours in maintenance planning. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(2), 366-384.
- Kontopoulou, V. I., Panagopoulos, A. D., Kakkos, I., & Matsopoulos, G. K. (2023). A review of ARIMA vs. machine learning approaches for time series forecasting in data driven networks. *Future Internet*, 15(8), 255.
- Koyuncu, K., Tavacıoğlu, L., Gökmen, N., & Arıcan, U. Ç. (2021). Forecasting COVID-19 impact on RWI/ISL container throughput index by using SARIMA models. *Maritime Policy & Management*, 1–13. doi:10.1080/03088839.2021.1876937
- Matos, C. (2024). Previsão do preço do petróleo utilizando modelos lineares, não lineares e ensembles.
- Mishra, K. M., & Huhtala, K. J. (2019). Fault Detection of Elevator Systems Using Multilayer Perceptron Neural Network. 2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). doi:10.1109/etfa.2019.8869230
- Noronha, W. E., Feitosa, M. D., Lelis, E. C., das Neves, J. M. S., & de Azevedo, M. M. FMEA e gestão de riscos em sistemas produtivos que utilizam machine learning: Uma revisão bibliográfica.
- Pellegrini, F. R. (2000). Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda. Porto Alegre: UFRGS, 146.
- Pereira, J. E., Silva, J. F. V., Dias, W. P., & SOUZA, G. D. S. E. (2000). Intervalo de confiança" bootstrap" como ferramenta para classificar raças do nematóide de cisto da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35,

271-275.

Peres, R. S., Dionisio Rocha, A., Leitao, P., & Barata, J. (2018). IDARTS – Towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0. *Computers in Industry*, 101, 138–146. doi:10.1016/j.compind.2018.07.004

Peringal, A., Mohiuddin, M. B., & Hassan, A. (2024). Remaining Useful Life Prediction for Aircraft Engines using LSTM. arXiv preprint arXiv:2401.07590.

Petchey, O. L., Pontarp, M., Massie, T. M., Kéfi, S., Ozgul, A., Weilenmann, M., ... & Pearse, I. S. (2015). The ecological forecast horizon, and examples of its uses and determinants. *Ecology letters*, 18(7), 597-611.

Pharaon, J. W. (2022). An agilized total productive maintenance framework to reduce unplanned downtime. The George Washington University.

Pinto, J. P. 2013. *Manutenção Lean*. Lisboa: Lidel Edições Técnicas, 2013.

Prema, V., & Rao, K. U. (2015). Time series decomposition model for accurate wind speed forecast. *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 2, 1-11.

Rao, S. U. M. (1998). Influence of environmental factors on component/equipment reliability.

Rosa, R. N. D. (2016). *Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em um processo da indústria automobilística*.

Rudenko, O., Bezsonov, O., & Romanyk, O. (2019). Neural network time series prediction based on multilayer perceptron. *Development Management*, 5(1), 23-34.

Ryu, K., & Sanchez, A. (2003). The Evaluation of Forecasting Methods at an Institutional Foodservice Dining Facility. *The Journal of Hospitality Financial Management*, 11(1), 27–45. doi:10.1080/10913211.2003.10653769

Ostertagová, E., & Ostertag, O. (2012). Forecasting using simple exponential smoothing method. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 12(3). doi:10.2478/v10198-012-0034-2

Sahisnu, J. S., Natalia, F., Ferdinand, F. V., Sudirman, S., & Ko, C. S. (2020). Vaccine prediction system using ARIMA method. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 11(6), 567-575.

Samii, A., Karami, H., Ghazvinian, H., Safari, A., & Dadrasajirlou, Y. (2023). Comparison of DEEP-LSTM and MLP models in estimation of evaporation pan for arid regions. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 7(2), 155-175.

Santos, R. T. S. (2020). AA INOVAÇÃO COMO VANTAGEM COMPETITIVA DAS EMPRESAS. *Revista Gestão Empresarial-RGE*, 6(1), 1-14.

S. K. E. Awadallah, J. V. Milanovic and P. N. jarman, “ The Influence of Modeling Transformer Age Related Failures on System Reliability,” *IEEE Transactions on Power Systems*, , Vol. 30, No. 2, March 2015, pp. 970-979.

Theissler, A., Pérez-Velázquez, J., Kettelgerdes, M., & Elger, G. (2021). Predictive maintenance enabled

by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 215, 107864. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107864>

VAZ, J. C. (1997). *Gestão da Manutenção Preditiva: Gestão de Operações*. Fundação Vanzolini. Ed. Edgard Blücher.

Viana, H. R. G. (2002). *PCM-Planejamento e Controle da manutenção*. Qualitymark Editora Ltda.

Wang, J., & Tang, S. (2020). Time series classification based on arima and adaboost. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 309, p. 03024). EDP Sciences.

Wei, W. W. S. (2019). *Multivariate Time Series Analysis and Applications*. Wiley Series in Probability and Statistics. doi:10.1002/9781119502951

Xing, S., Han, F., & Khoo, S. (2022). Extreme-Long-short Term Memory for Time-series Prediction. arXiv preprint arXiv:2210.08244.

Yang, B., Long, W., Peng, L., & Cai, Z. (2020). Testing the predictability of US housing price index returns based on an IVX-AR model. *Journal of the American Statistical Association*, 115(532), 1598-1619.

Yang, J., Rahardja, S., & Fränti, P. (2019). Outlier detection. *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Information Processing and Cloud Computing - AIIPCC '19*. doi:10.1145/3371425.3371427

Zhang, Y., & Meng, G. (2023, March). Simulation of an adaptive model based on AIC and BIC ARIMA predictions. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2449, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.

Zhou, L., Zhao, P., Wu, D., Cheng, C., & Huang, H. (2018). Time series model for forecasting the number of new admission inpatients. *BMC medical informatics and decision making*, 18, 1-11.